

Oborinske i temperaturne prilike na Plitvičkim jezerima i mogući utjecaji klimatskih promjena

Krajcar, Diana

Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni

2021

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:652963>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-16**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Diana Krajcar

**Oborinske i temperaturne prilike na Plitvičkim jezerima i mogući
utjecaji klimatskih promjena**

Diplomski rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Specijalistički diplomski stručni studij Građevinarstvo
Prirodne osnove vodnih pojava u priobalju**

**Diana Krajcar
JMBAG: 0114030133**

**Oborinske i temperaturene prilike na Plitvičkim jezerima i mogući
utjecaji klimatskih promjena**

Diplomski rad

Rijeka, srpanj 2021.

Naziv studija: **Specijalistički diplomski stručni studij**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Hidrotehnika

Tema diplomskog rada

**OBORINSKE I TEMPERATURNE PRILIKE NA PLITVIČKIM JEZERIMA I MOGUĆI
UTJECAJI KLIMATSKIH PROMJENA**

**PRECIPITATION AND TEMPERATURE CONDITIONS ON PLITVICE LAKES AND
POSSIBLE IMPACTS OF CLIMATE CHANGE**

Kandidatkinja: **DIANA KRAJCAR**

Kolegij: **PRIRODNE OSNOVE VODNIH POJAVA U PRIOBALJU**

Diplomski rad broj: **SPEC-2021-27**

Zadatak:

U radu je potrebno:

- Opisati opće značajke Plitvičkih jezera
- Provesti osnovnu obradu raspoloživih podataka o oborinama i temperaturama s klimatološke postaje Plitvice (nadopunjavanje nizova, karakteristični mjesečni i godišnji pokazatelji, vjerojatnosti pojave, unutargodišnja raspodjela, analize trendova)
- Provesti analizu utjecaja klimatskih promjena na temelju rezultata provedenih modeliranja u okviru projekta Hidrodinamičko modeliranje Plitvičkih jezera

Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.

Mentor

doc. dr. sc. Josip Rubinić,
dipl.ing.građ.

IZJAVA

Diplomski rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentorom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Diana Krajcar

U Rijeci, 29. lipnja 2021.

IZJAVA

Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta
HIDRODINAMIČKO MODELIRANJE SUSTAVA PLITVIČKIH JEZERA

Voditelj projekta prof.dr.sc. Zvezdana Bencetić Klaić
Voditelj istraživanja
Za Građ.fak, u Rijeci doc.dr.sc.Josip Rubinić
Šifra projekta 7989116
Financijer projekta Javna ustanova Nacionalni park Plitvička jezera
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

U Rijeci, 28.6.2021.

Mentor:

Doc.dr.sc.Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

IZJAVA

Završni/Diplomski rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta
**PROCJENE UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA HIDROLOŠKU STABILNOST
ZAŠTIĆENIH JEZERSKIH SUSTAVA U KRŠKOM PODRUČJU HRVATSKE**

Voditelj projekta doc.dr.sc.Josip Rubinić
Šifra projekta uniri-tehnic-18-298
Financijer projekta Sveučilište u Rijeci
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

U Rijeci, 28.6.2021.

Mentor:

Doc.dr.sc.Josip Rubinić, dipl.ing.građ.

ZAHVALA

Želim se zahvaliti svome mentoru dr.sc. Josipu Rubiniću, dipl.ing.građ., što mi je puno pomogao u pisanju ovog rada. Iako se zbog novonastale situacije nismo baš vidjeli, na svako moje pitanje i na svaki moj mail je odgovorio jako brzo i bio vrlo aktivan što mi je puno značilo.

Veliko hvala mojoj obitelji koji su bili uz mene kroz cijelo moje školovanje i uvijek vjerovali u mene. Pomogli mi i financijski jer bez toga ne bih bila ovdje gdje jesam. Hvala svojim prijateljicama i dečku koji su ovo školovanje nekako olakšali i najviše me razumjeli.

Sažetak

U ovom radu analizirane su oborinske i temperaturne prilike na Plitvičkim jezerima. Nacionalni park Plitvička jezera je najveći i najstariji nacionalni park u Hrvatskoj i smješten na dodiru Korduna i Like, na samom izvoru krške rijeke Korane. Sveukupno 16 jezera čine ovaj nacionalni park koja su međusobno povezana slapovima i kaskadama. Na Plitvičkim jezerima prevladava umjereno topla i vlažna klima s toplim ljetima (Cfb) u kojoj je srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža od 22 °C, tzv. klima bukve. Podaci o mjesečnim oborinama i temperaturama uzeti su s jezerima najbliže postaje Plitvica u periodu od 1956. do 2015. godine. Analizirane su srednje mjesečne količina oborina i temperature zraka u Fosterovom dijagramu kako bi se vremenski i prostorno uočile i pratile značajke klime. Znatno je vidljiva razlika u temperaturama između prvog dijela promatranog razdoblja (1956. – 1985.) i drugog dijela (1986. – 2015.) gdje su temperature zraka veće, a promijenjen je i režim oborina. Nadalje, analizirani su godišnji hodovi temperature zraka s rezultirajućim trendom koji je rastući i oborina čiji je trend u padu. Prikazane su unutargodišnje osnovne statističke analize: srednje vrijednosti, standardna devijacija, koeficijent varijacije te maksimalne i minimalne vrijednosti oborina i temperature zraka. Najveća količina oborina na Plitvičkim jezerima je u studenom (163 mm), dok je najmanja količina u mjesecu srpnju (110 mm). Najveće temperature zraka su u srpnju (18,0 °C), a najmanje u siječnju (-0,8 °C). Proveden je proračun vjerojatnosti pojave maksimalnih i minimalnih količina godišnjih i mjesečnih oborina i temperatura korištenjem teorijskih funkcija raspodjele vjerojatnosti tipa Gumbel. Promjene klime mogu biti izazvane ljudskim aktivnostima kojima u atmosferu dolaze plinovi staklenika, a oni imaju ključnu ulogu u zagrijavanju atmosfere. Kako bi se procijenile promjene klime u budućnosti, definirane su buduće emisije ugljikovog dioksida i drugih plinova staklenika u atmosferi.

Ključne riječi: Plitvička jezera, klima, oborine, temperature zraka, trend, vjerojatnosti pojave

Abstract

In this paper, precipitation and temperature conditions on Plitvice Lakes are analyzed. National Park Plitvice Lakes is the largest and oldest national park in Croatia and is located at the junction of Kordun and Lika, at the source of the karst river Korana. The national park consists of 16 lakes connected by waterfalls and cascades. Plitvice Lakes have a moderately warm and humid climate with warm summers (Cfb) in which the average air temperature of the warmest month is lower than 22 ° C, the so-called climate of the beech. Data on monthly precipitation and temperatures were taken from the nearest station to the lakes in the period from 1956 to 2015. Mean monthly precipitation and air temperatures were analyzed in the Foster diagram to observe and monitor climate characteristics in time and space. The results showed a significant difference in temperatures between the first part of the observed period (1956 - 1985) and the second part (1986 - 2015) in which air temperatures were higher, and the precipitation regime has changed. Furthermore, the annual air temperature strokes with the resulting upward trend and precipitation with a downward trend were analyzed. Intra-annual basic statistical analyzes are presented: mean values, standard deviation, coefficient of variation and maximum and minimum values of precipitation and air temperature. The highest amount of precipitation on Plitvice Lakes is in November (163 mm), while the lowest amount is in July (110 mm). The highest air temperatures are in July (18.0 ° C) and the lowest in January (-0.8 ° C). The calculation of the probabilities of occurrence of maximum and minimum amounts of annual and monthly precipitation and temperatures was performed using theoretical probability distribution functions of the Gumbel type. Climate change can be caused by human activities that bring greenhouse gases into the atmosphere, and they play a key role in warming the atmosphere. In order to assess climate change in the future, future emissions of carbon dioxide and other greenhouse gases into the atmosphere have been defined.

Keywords: Plitvice Lakes, climate, precipitation, air temperatures, trend, probabilities of occurrence

Sadržaj

POPIS TABLICA.....	1
POPIS SLIKA:.....	2
1. UVOD	4
2. OPĆE ZNAČAJKE PLITVIČKIH JEZERA I KLIMATSKIH PRILIKA NA NJIHOVOM SLIVU	5
2.1. Klimatske značajke	8
3. PODLOGE I METODOLOGIJA NJIHOVE OBRADE	12
4. OSNOVNA ANALIZA GODIŠNJIH I MJESEČNIH PODATAKA O OBORINAMA I TEMPERATURAMA ZRAKA	16
4.1. Dopuna nizova podataka.....	16
4.2. Opće klimatske prilike.....	19
4.3. Godišnji hodovi temperatura zraka i oborina.....	23
4.4. Unutargodišnja raspodjela	25
5. ANALIZA VJEROJATNOSTI POJAVE KARAKTERISTIČNIH GODIŠNJIH I MJESEČNIH KOLIČINA OBORINA I TEMPERATURA ZRAKA	27
6. ANALIZA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA REŽIM OBORINA I TEMPERATURA ZRAKA.....	32
6.1. Općenito o klimatskim promjenama	32
6.2. Prikaz rezultata provedenih procjena	35
7. ZAKLJUČCI.....	41
8. LITERATURA	43

POPIS TABLICA:

Tablica 1. Pregled raspoloživih podataka o oborinama (H) i temperaturama zraka postaji Plitvice i Slunj

Tablica 2. Podaci o oborinama za siječanj, ožujak, studeni i prosinac od 1961. do 1990. s postaje Plitvice i Slunj

Tablica 3. Komplementirani podaci o oborinama

Tablica 4. Srednje mjesečne količine oborina za tri razdoblja

Tablica 5. Srednje mjesečne temperature zraka oborina za tri razdoblja

Tablica 6. Godišnje oborine (mm) i temperature zraka (°C) od 1956. do 2015. godine i njihovi statistički podaci

Tablica 7. Unutargodišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih vrijednosti oborina (1956.-2015.)

Tablica 8. Unutargodišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih vrijednosti temperature zraka (1956.-2015.)

Tablica 9. Rezultati vjerojatnosti pojave najvećih i najmanjih vrijednosti mjesečnih i godišnjih oborina i temperature zraka

Tablica 10. Rezultati vjerojatnosti pojave najvećih i najmanjih vrijednosti godišnjih oborina i temperature zraka za razdoblja 1956.-2015., 2016.-2100.(P4) i 2016.-2100.(P8)

POPIS SLIKA:

Slika 1. Geografski položaj nacionalnog parka Plitvička jezera (<https://np-plitvicka-jezera.hr/fotomonografija-parkovi-hrvatske/parkovi-hrvatske-karta/>)

Slika 2. Uzdužni presjek Plitvičkih jezera (Vozila, 2017)

Slika 3. Sedre i slapovi na Plitvičkim jezerima (izradila autorica, 25.04.2021.)

Slika 4. Veliki slap (desno) (izradila autorica, 25.04.2021.)

Slika 5. Karta srednjih godišnjih količina oborina
(http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf)

Slika 6. Karta srednjih godišnjih temperatura zraka
(http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf)

Slika 7. Položaj klimatoloških postaja DHMZ-a (Vozila, 2017)

Slika 8. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za siječanj 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije

Slika 9. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za ožujak 1971. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije

Slika 10. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za studeni 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije

Slika 11. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za prosinac 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije

Slika 12. Značajke klime prikazane Fosterovim dijagramom u razdoblju 1956.-2015.

Slika 13. Značajke klime prikazane Fosterovim dijagramom u razdoblju 1965.-1985. i 1986.-2015.

Slika 14. Opadajući trend iznosi 1,3 mm/god oborina od 1956. do 2015. Godine

Slika 15. Rastući trend je 0,02 mm/god temperature zraka od 1956. do 2015. Godine

Slika 16. Unutargodišnja raspodjela oborina srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti (1956. – 2015.)

Slika 17. Unutargodišnja raspodjela temperatura zraka srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti (1956. – 2015.)

Slika 18. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih oborina u smjeru maksimuma

Slika 19. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih oborina u smjeru minimuma

Slika 20. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih temperatura u smjeru maksimuma

Slika 21. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih temperatura u smjeru minimum

Slika 22. Različiti klimatski scenariji očekivanih promjena klime u ovisnosti o stupnju emisije stakleničkih plinova na Zemlje (Climate change, 2014 / https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

Slika 23. Prikaz hoda godišnjih količina oborina po modelu P4 (1970.-2100.)

Slika 24. Prikaz hoda godišnjih količina oborina po modelu P8 (1970.-2100.)

Slika 25. Prikaz hoda godišnjih temperatura zraka (P4) 1970.-2100.

Slika 26. Prikaz hoda godišnjih temperatura zraka (P8) 1970.-2100.

Slika 27. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih godišnjih oborina u smjeru maksimuma i minimuma za povijesni niz (1956.-2015.) te generirani niz u uvjetima klimatskih promjena – modeli P4 i P8 (2016.-2100.)

Slika 28. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih godišnjih temperatura u smjeru maksimuma i minimuma za povijesni niz (1956.-2015.) te generirani niz u uvjetima klimatskih promjena – modeli P4 i P8 (2016.-2100.)

1. UVOD

Plitvička jezera proglašena su nacionalnim parkom 1949. godine, a 1979. park je upisan u UNESCO-ov registar Svjetske baštine. NP Plitvička jezera smješten je u krškom planinskom području u unutrašnjosti Hrvatske, između Male Kapele, Medveđaka i Ličke Plješivice. Jezerski sustav sastoji se od niza od 16 jezera koja su međusobno povezana slapovima i kaskadama. Gornja jezera se većinom nalaze na slabo propusnoj dolomitnoj podlozi iz razdoblja trijasa, dok donja jezera koja su nizvodno od Kozjaka i kanjona Korane čine jako propusne vapnenačke stijene gornje krede.

U radu su prikazane klimatološke značajke Plitvičkih jezera, oborine i temperature zraka od kojih imamo prikupljene mjesečne podatke u periodu od 1956. do 2015. godine mjerene s klimatološke postaje Plitvice te je prikazana metodologija obrade podataka. Nekoliko mjesečnih podataka nedostaju stoga je napravljena dopuna nizova podataka s podacima drugih obližnjih postaja (Slunj, Babin potok, Gospić, Karlovac) koje provedene su uz pomoć korelacijske analize.

Analizirani mjesečni podaci o oborinama i temperaturama zraka prikazani su u Fosterovom dijagramu gdje se jasno vide osnovne značajke klime u pogledu vlažnosti i topline. Potom su prikazani godišnji hodovi oborina i temperatura zraka i njihovi trendovi. Analizirana je unutargodišnja raspodjela gdje su prikazani minimum, maksimumi, srednje vrijednosti, standardna devijacija i koeficijent varijacije.

Provedene su i analize vjerojatnosti pojava maksimalnih i minimalnih godišnjih i mjesečnih temperatura zraka i količina oborina. Svrha primjene funkcija raspodjele vjerojatnosti u ovom radu jest da se na osnovu raspoloživih podataka o maksimalnim i minimalnim količinama oborina i temperature zraka za promatrano razdoblje odrede vjerojatnosti s kojima bi se ove pojave mogle dogoditi u budućnosti.

2. OPĆE ZNAČAJKE PLITVIČKIH JEZERA I KLIMATSKIH PRILIKA NA NJIHOVOM SLIVU

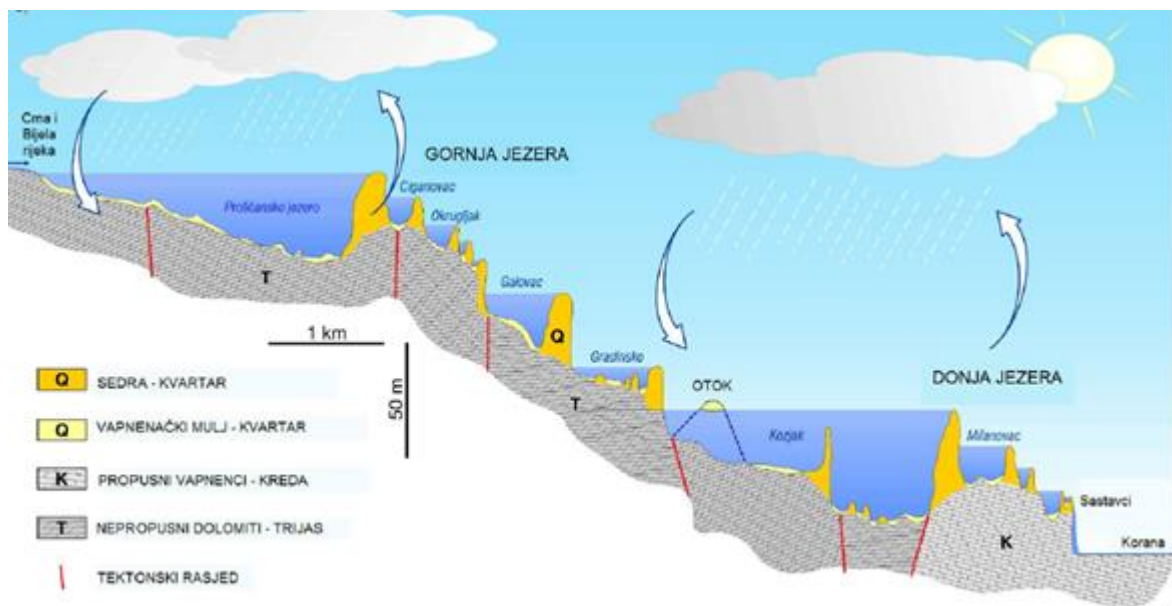
Nacionalni park Plitvička jezera je najveći i najstariji nacionalni park u Hrvatskoj. Zbog svoje prirodne ljepote te osobite geološke i hidrogeološke pojave ovo područje je oduvijek privlačilo zaljubljenike u prirodu, pa je 8. travnja 1949. godine proglašeno prvim nacionalnim parkom u Hrvatskoj. Njihovoj ljepoti nije mogao odoljeti niti UNESCO te ih je uvrstio na svoj Popis svjetske baštine 26. listopada 1979. godine.

Plitvička jezera su smještena na dodiru Korduna i Like, na samom izvoru krške rijeke Korane, na južnom dijelu gorskog lanca Male Kapele (slika 1). Dijele se na gornja i donja jezera, a osnovna je razlika u tome što je na gornjim jezerima uglavnom dolomitna geološka građa, a na donjima od vapnenca (slika 1). Sveukupno 16 jezera čine ovaj nacionalni park koja su međusobno povezana slapovima i kaskadama i pružaju se približno u smjeru jug-sjever duž oko 9 km, od nadmorske visine od 637 m n.m. na jugu, do visine 475 m n.m. na sjeveru (Bencetić Klaić i dr., 2017).

Gornja jezera obuhvaćaju 12 jezera, a to su počevši od najuzvodnijeg: Prošćansko jezero, Ciginovac, Okrugljak, Batinovac, Veliko jezero, Malo jezero, Vir, Galovac, Milino jezero, Gradinsko jezero, Burgete i jezero Kozjak. Donja jezera čine preostala 4 manja jezera, a to su: Milinovac, Gavanovac, Kaluđerovac i Novakovića Brod (slika 2). Veličinom ističu se jezera Kozjak i Prošće koji zajedno zauzimaju 77% ukupne površine svih Plitvičkih jezera. Kozjak jezero je najveće, a ujedno i najdublje Plitvičko jezero, površine 0,829 km² i dubine do 48,5 m, nalazi se na granici gornjih i donjih jezera, a nastalo je potapanjem slapišta i spajanjem dva jezera. Srednja nadmorska visina jezera Kozjak je oko 535 m.n.m., a prostire se u smjeru sjeverozapad–jugoistok. Drugo po veličini je Prošćansko jezero površine 0,68 km² koje je i najuže jezero na Plitvičkim jezerima. Srednja nadmorska visina Prošćanskog jezera je 637 m n.m. i prostire se u smjeru jug-sjever (Vozila, 2017).



Slika 1. Geografski položaj nacionalnog parka Plitvička jezera (<https://np-plitvicka-jezera.hr/fotomonografija-parkovi-hrvatske/parkovi-hrvatske-karta/>)



Slika 2. Uzdužni presjek Plitvičkih jezera (Vozila, 2017)

Jezera dobivaju vodu iz Crne i Bijele rijeke koje se nizvodno spajaju u rijeku Maticu na mjestu Plitvički Ljeskovac, a zatim utječu u najuzvodnije Prošćansko jezero. Osim spomenutih rijeka, uz jugozapadnu obalu, točnije u Liman dragi, utječe manji pritok Sušanj, a cijelom zapadnom obalom se pojavljuju manja vrelca s kraćim tokovima. Jezeru Kozjak, uz vode koje se slijevaju slapovima iz jezera Burgete, veće količine vode donosi i stalni pritok Rječica (Vozila, 2017).

Fenomeni Plitvičkih jezera rezultat su tisućljetnih procesa taloženja vapnenca, a sedimentacijom vapnenca nastale su sedre. Na jezerima se voda prelijeva preko sedrenih barijera i tvori slapove (slika 1). Najviši slap na Plitvicama, a ujedno i u Hrvatskoj, je Veliki slap visine 78 metara. Dok sve ostale slapove tvore jezera, Veliki slap je nastao obrušavanjem potoka Plitvica niz strmu vapnenačku liticu te spuštajući se preko stijene tvori slapište gdje započinje rijeka Korana (slika 2).



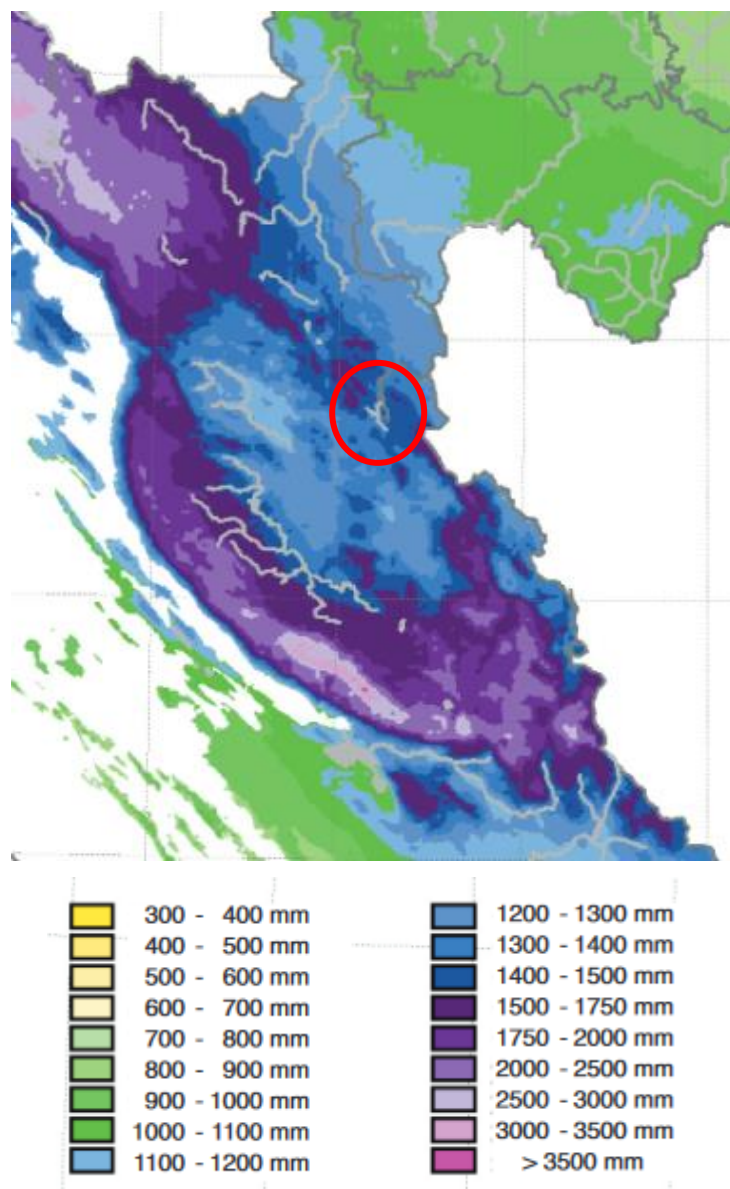
Slika 3. Sedre i slapovi na Plitvičkim jezerima (izradila autorica, 25.04.2021.)



Slika 4. Veliki slap (desno) (izradila autorica, 25.04.2021.)

2.1. Klimatske značajke

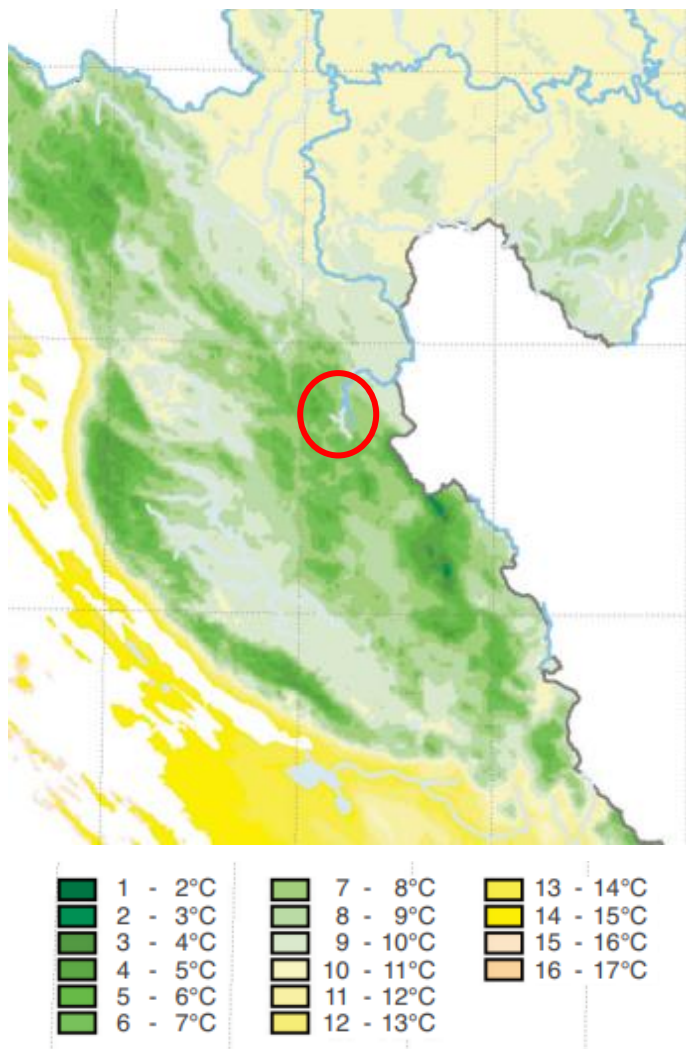
Tijekom godine na području Plitvičkih jezera padnu značajne količine oborine. U prosjeku su najveće u listopadu (151 mm), no cijela jesen i početak zime obiluju oborinom. U prosjeku najmanje količine u godišnjem hodu javljaju se u veljači (112 mm) i srpnju (110 mm). Ukupno godišnje padne u prosjeku 1605 mm oborina (slika 5).



Slika 5. Karta srednjih godišnjih količina oborina
 (http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf)

Temperatura zraka jedan je od najvažnijih klimatskih elemenata i o njoj ovisi život prirode. Promjena srednje godišnje temperature zraka s visinom najmanja je u kopnenom dijelu Hrvatske koji obuhvaća čitav nizinski dio te Liku i Gorski kotar i ona iznosi $0,5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ (http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf). Srednji godišnji hod temperature zraka na Plitvičkim jezerima ima oblik jednostavnog vala s maksimalnom temperaturom u srpnju (18°C) i minimalnom u siječnju ($-0,8^{\circ}\text{C}$). Zbog

maritimnog utjecaja s Jadrana i usporednog utjecaja jezera jesen je toplija od proljeća pa krivulja godišnjeg hoda nije simetrična (Erdelez i dr., 2021). Srednja godišnja temperature zraka na Plitvičkim jezerima je 8,7 °C (slika 6).



Slika 6. Karta srednjih godišnjih temperatura zraka
(http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf)

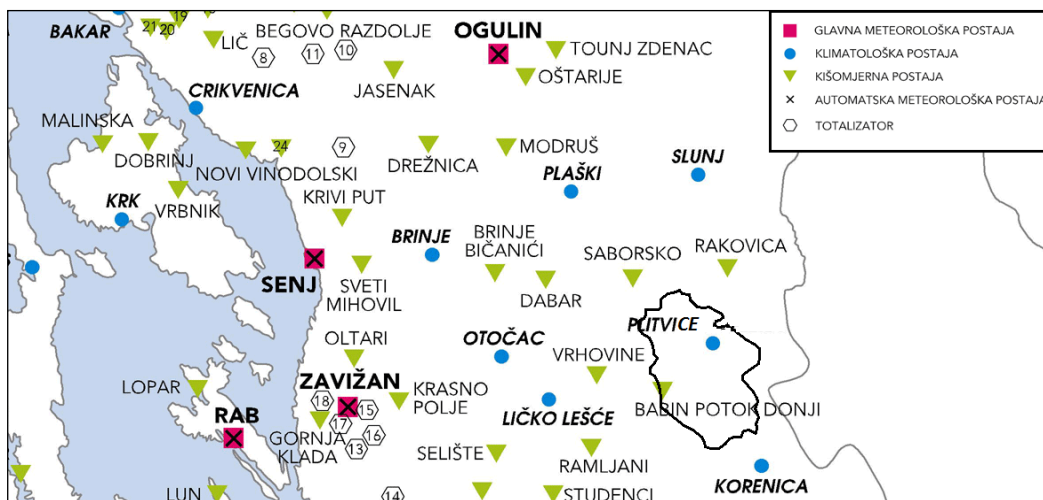
Područje gorske topografije znatno utječe na klimatske prilike i na vrstu vegetacije. Prema Keppenovoj klasifikaciji, na Plitvičkim jezerima prevladava umjereno topla i vlažna klima s toplim ljetima (Cfb) u kojoj je srednja temperatura zraka najtoplijeg mjeseca niža od 22 °C, tzv. klima bukve (<https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna->

[bastina/prirodna-bastina/raznolikost-stanista/sume/](#)). Raznolikost reljefa uvjetuje različite mikrometeorološke prilike na području Nacionalnog parka, pa tako pojedina područja koja se nalaze iznad 1.200 m nadmorske visine imaju vlažnu borealnu klimu (Df) (Vozila, 2017).

Vjetar je također jedan od najvažnijih čimbenika za formiranje i dinamiku vodnih resursa, jer uz temperaturu zraka bitno utječe na visinu evapotranspiracije u cijelom području. Usporedbom sezonskih ruža vjetrova uočava se dominantno strujanje iz sjeveroistočnog i jugozapadnog kvadranta, zimi je nešto izraženiji i sjeverozapadni smjer, a ljeti je sredinom dana osobito izraženo strujanje iz sjevernog smjera. Na Plitvičkim jezerima prevladava vjetar jačine 1-3 Bf, dok se umjereno jak vjetar (4 – 5 Bf) i jaki vjetar (6 – 7 Bf) rijeđe pojavljuje (Erdelez i dr., 2021).

3. PODLOGE I METODOLOGIJA NJIHOVE OBRADJE

Na širem području sliva Plitvičkih jezera nalaze se samo dvije meteorološke postaje – klimatološka postaja Plitvice i oborinska postaja Babin potok Gornji. Pri pripremi ovog rada na raspolaganju su stajali i podaci s postaja s nešto udaljenijih lokacija - Gospić, Karlovac i Slunj (slika 7).



Slika 7. Položaj klimatoloških postaja DHMZ-a (Vozila, 2017)

Podaci o mjesečnim oborinama i temperaturama uzeti su s jezerima najbliže postaje Plitvice (s kotom 580 m n.m.), u periodu od 1956. do 2015. godine. Radi se o podacima koji su prethodno već dijelom nadopunjeni u okviru pripreme projekta Hidrodinamika Plitvičkih jezera od strane PMF fakulteta (u izradi). U tablici 1. prikazani su raspoloživi podaci oborina i temperature zraka s klimatoloških postaja Plitvice i Slunj te je vidljivo da nedostaju podaci o oborinama na postaji Plitvice. Nedostajuće mjesečne oborine, za ožujak 1971. godine i za siječanj, studeni i prosinac 1980. godine, nadopunjene su preko postaje Slunj (s kotom od 254 m n. m.).


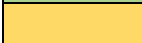

Tablica 1. Pregled raspoloživih podataka o oborinama (H) i temperaturama zraka (T) na postaji

Plitvice i Slunj

	Plitvice	Slunj
1956	H, T	
1957	H, T	
1958	H, T	
1959	H, T	
1960	H, T	
1961	H, T	H
1962	H, T	H
1963	H, T	H
1964	H, T	H
1965	H, T	H
1966	H, T	H
1967	H, T	H
1968	H, T	H
1969	H, T	H
1970	H, T	H
1971	H, T	H
1972	H, T	H
1973	H, T	H
1974	H, T	H
1975	H, T	H
1976	H, T	H
1977	H, T	H
1978	H, T	H
1979	H, T	H
1980	H, T	H
1981	H, T	H
1982	H, T	H
1983	H, T	H
1984	H, T	H
1985	H, T	H
1986	H, T	H
1987	H, T	H
1988	H, T	H
1989	H, T	H
1990	H, T	H
1991	H, T	
1992	H, T	

	Plitvice	Slunj
1993	H, T	
1994	H, T	
1995	H, T	
1996	H, T	
1997	H, T	
1998	H, T	
1999	H, T	
2000	H, T	
2001	H, T	
2002	H, T	
2003	H, T	
2004	H, T	
2005	H, T	
2006	H, T	
2007	H, T	
2008	H, T	
2009	H, T	
2010	H, T	
2011	H, T	
2012	H, T	
2013	H, T	
2014	H, T	
2015	H, T	

Legenda:

	Svi podaci	H	Oborina
	Djelomično podaci	T	Temperatura zraka
	Nema podataka		

Dopunjavanje nizova podataka klimatološke postaje Plitvica s podacima s postaje Slunj provedeno je uz pomoć korelacijske analize. Korelacija je međuovisnost dviju mjerljivih varijabli. Kada se pri korelacijskoj analizi razmatrani statistički niz, predstavljen parovima vrijednosti (x_i, y_i) , prikaže grafički, može se zaključiti kakva je čvrstina veze među njima (Vozila, 2017). Kriterij ocjene korelacijskih veza, a na temelju dobivenog koeficijenta korelacije r je:

- za $r = 1$ postoji čvrsta korelacijska veza
- za $1 > r > 0,75$ postoji relativno čvrsta korelacijska veza
- za $0,75 > r > 0,5$ postoji slaba korelacijska veza
- za $r < 0,5$ ne postoji značajna korelacijska veza

Napravljena je korelacijska analiza između Plitvica i svake postaje te je uzeta ona postaja s kojom ima najveći koeficijent korelacije. U ovom slučaju to je klimatološka postaja Slunj. Zatim nedostajući podatak je izračunat koristeći regresijsku jednadžbu.

Nakon dopunjavanja podataka, analizirani su osnovni statistički pokazatelji - srednje vrijednosti, ekstremne vrijednosti (minimalne i maksimalne) koje su prikazane i u grafu unutargodišnje raspodjele oborina i temperature. Analizirane su i mjere rasipanja (standardno odstupanje i koeficijent varijacije) mjesečnih oborina i temperature zraka. Standardno odstupanje (standardna devijacija) označava mjeru raspršenosti podataka u skupu tj. prosječno odstupanje elementa skupa od aritmetičke sredine skupa. Standardna devijacija računa se prema izrazu (Vozila, 2017):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Koeficijent varijacije daje bezdimenzionalnu mjeru disperzije, a označava odnos standardne devijacije i aritmetičke sredine promatranog niza. Koeficijent varijacije računa se prema izrazu (Vozila, 2017):

$$c_v = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

Analizirani su i linearni trendovi koji se definiraju kao sustavna i neprekinuta promjena kroz cijeli vremenski niz, isključujući periodične ili gotovo periodične promjene. Trendovi ukazuju na usmjeravanje (padajuće ili rastuće) u vremenskim nizovima (Vozila, 2017). U potpoglavlju 4.3., analiziran je trend u smislu osnovne tendencije kretanja godišnjih količina oborina i temperature zraka u promatranom razdoblju 1956. – 2015. godine. Jednadžba trenda niza klimatoloških podataka u promatranom vremenskom razdoblju predstavlja jednadžbu linearne funkcije $y = a x + b$ kod koje su vrijednosti x promatrane godine, a vrijednosti y analizirane vrijednosti temperatura ili oborina. Ukoliko parametar a linearne funkcije dobije pozitivnu vrijednost, tada je funkcija rastuća i zaključujemo da je trend godišnjih vrijednosti u porastu. A ako parametar a poprimi negativnu vrijednost, tada je funkcija opadajuća te je trend godišnjih vrijednosti u padu (Rubinić, 2019).

Zatim su analizirani dekadski prosjeci mjesečnih i godišnjih količina oborina i srednjih godišnjih vrijednosti temperature zraka (1956.-1965., 1966.-1975., 1976.-1985., 1986.-1995., 1996.-2005., 2006.-2015.) po mjesecima i prikazani u grafove. Prikazana je i srednja vrijednost oborina i temperatura spomenutih desetogodišnjih razdoblja.

Naposljetku, prikazane su analize vjerojatnosti pojave karakterističnih godišnjih i mjesečnih količina oborina i temperatura zraka. Vjerojatnost je matematički pojam kojim se kvantitativno opisuje slučajnost pojavljivanja uočenog događaja (Rubinić, 2019). Svrha primjene funkcija raspodjele vjerojatnosti u ovom radu jest da se na osnovu raspoloživih podataka o maksimalnim i minimalnim količinama oborina i temperature zraka za promatrano razdoblje odrede vjerojatnosti s kojima bi se ove pojave mogle dogoditi u budućnosti.

4. OSNOVNA ANALIZA GODIŠNJIH I MJESEČNIH PODATAKA O OBORINAMA I TEMPERATURAMA ZRAKA

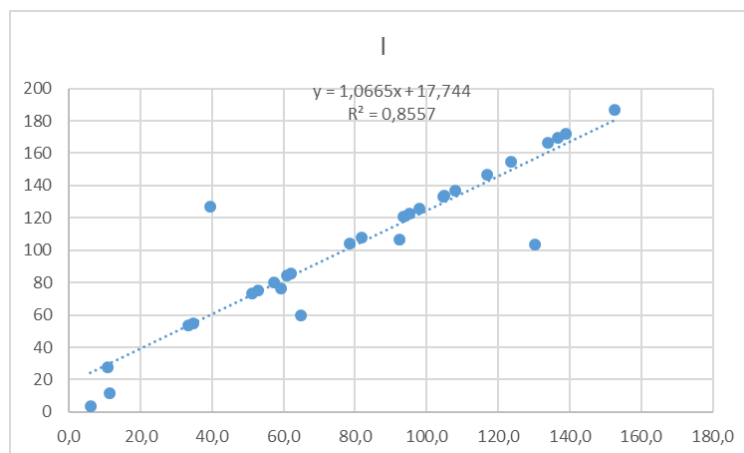
Osnovna analiza podataka raspravljena je u okviru četiri potpoglavlja. U okviru potpoglavlja 4.1. tablično i grafički su prikazane dopune nizova podataka za nedostajuće podatke o oborinama. U 4.2. potpoglavlju analizirani su rezultati srednjih mjesečnih količina oborina i temperature zraka u Fosterovom dijagramu. U potpoglavlju 4.3. analizirani su godišnji hodovi temperature zraka i oborina i njihovi trendovi. U zadnjem potpoglavlju prikazana je unutargodišnja raspodjela s osnovnim statističkim analizama.

4.1. Dopuna nizova podataka

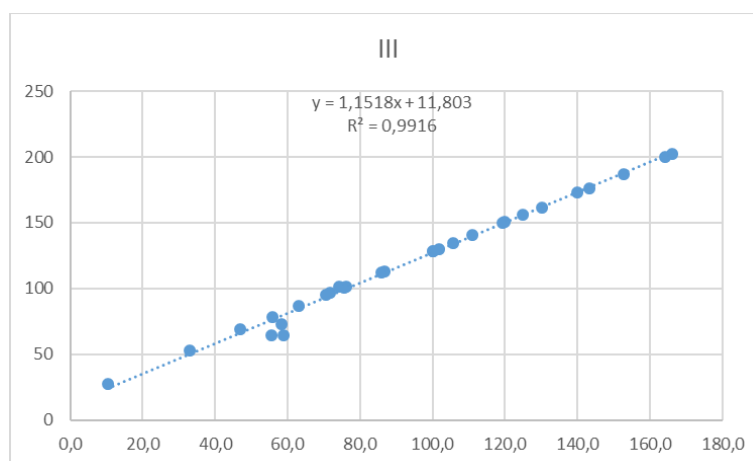
U tablici 2. prikazani su podaci o oborinama za mjeseci u kojima je uočen prekid mjerenja u raspoloživim nizovima (siječanj, ožujak, studeni i prosinac) u razdoblju od 1961. do 1990. Primijećen je nedostatak podataka u 1971. i 1980. godini, koji je dopunjen na osnovu regresijske analize (nadopunjeni podaci istaknuti šrafurom). Zbog toga što je dio podataka već ranije osiguran dopunom nizova preko linearne regresijske veze, ona je korištena i u danom slučaju. Tako je npr. za siječanj 1980. dobivena jednadžba međuveze $y = 1,0665x + 17,744$ gdje je x poznati podatak o količini oborine s postaje Slunj iste godine (101 mm) (slika 8). Kada uvrstimo x dobijemo podatak o oborini za siječanj postaje Plitvice (126 mm). Za ostale mjeseci vrijedi isti način (slike 9, 10, 11). Svi rezultati nedostajućih podataka količine oborina su prikazani u tablici 3.

Tablica 2. Podaci o oborinama za siječanj, ožujak, studeni i prosinac od 1961. do 1990. s postaje
Plitvice i Slunj

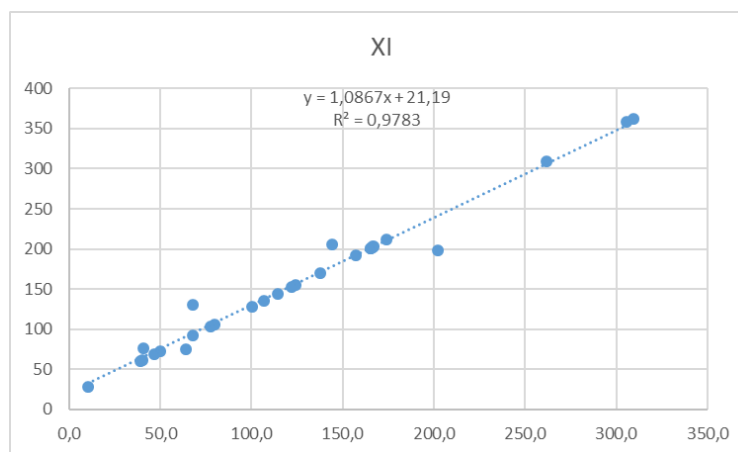
	Slunj	Plitvice	Slunj	Plitvice	Slunj	Plitvice	Slunj	Plitvice
	I	I	III	III	XI	XI	XII	XII
1961	79	104	70,7	95	124	155	122	153
1962	153	187	166	202	309	363	86	112
1963	139	172	63	87	80	106	154	189
1964	11	28	164	200	107	136	172	209
1965	137	169	87	113	262	309	158	193
1966	82	108	125	156	306	359	177	214
1967	93	121	76	101	167	203	213	255
1968	124	155	10	28	165	201	60	83
1969	95	123	76	101	78	103	235	280
1970	108	137	140	173	39	60	104	132
1971	134	166	120	150	138	170	55	78
1972	117	147	33	53	167	203	18	36
1973	61	84	47	69	68	92	54	76
1974	53	75	111	140	115	144	54	76
1975	35	55	72	97	100	128	46	68
1976	51	74	120	151	174	211	131	162
1977	62	85	100	128	157	192	88	114
1978	105	133	153	187	50	72	80	105
1979	98	126	56	78	166	202	115	145
1980	101	126	102	130	266	310	118	150
1981	59	76	100	128	40	61	215	257
1982	33	53	119	150	47	69	167	203
1983	57	80	106	135	10	28	42	63
1984	105	134	86	112	122	153	31	50
1985	40	127	143	177	165	201	76	101
1986	65	60	58	73	68	130	31	61
1987	130	103	56	65	202	199	45	55
1988	93	107	130	162	64	75	42	80
1989	6	4	74	101	41	77	13	39
1990	11	12	59	64	144	206	146	197



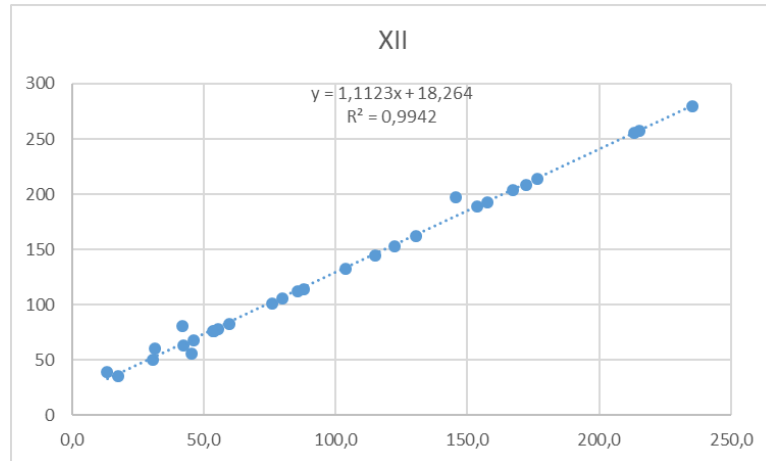
Slika 8. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za siječanj 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije



Slika 9. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za ožujak 1971. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije



Slika 10. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za studeni 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije



Slika 11. Grafički prikaz korelacijske veze oborina dviju postaja i linearni trend za prosinac 1980. s regresijskom jednadžbom i koeficijentom korelacije

4.2. Opće klimatske prilike

U ovom potpoglavlju su prikazani rezultati analiza srednjih mjesečnih količina oborina i temperature zraka u Fosterovom dijagramu.

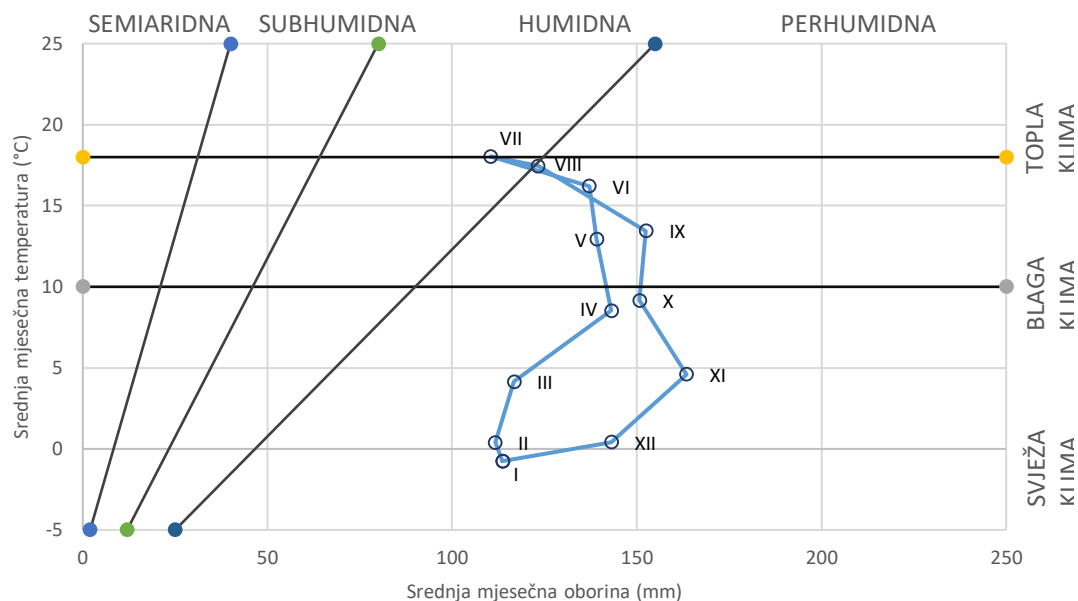
U tablici 4. uzete su srednje mjesečne količine oborina za tri razdoblja – cjelovito 60-godišnje razdoblje raspoloživih podataka 1956.-2015., kao i izdvojeno na dva 30-godišnja razdoblja - 1956.-1985., te 1986.-2015. godine. Također, uzete su i srednje mjesečne temperature zraka za ta ista razdoblja u tablici 5. Kako bi se vremenski i prostorno uočile i pratile značajke klime korišten je Fosterov dijagram (Slika 12). Iz odnosa srednjih mjesečnih temperatura zraka i srednjih mjesečnih oborina prikazane su osnovne značajke klime u pogledu vlažnosti i topline (Kočić, 2013).

Tablica 4. Srednje mjesečne količine oborina za tri razdoblja

		1956-2015	1956-1985	1986-2015
siječanj	I	114	117	111
veljača	II	112	107	116
ožujak	III	117	123	111
travanj	IV	143	151	135
svibanj	V	139	141	137
lipanj	VI	137	152	122
srpanj	VII	110	125	96
kolovoz	VIII	123	143	103
rujan	IX	152	137	168
listopad	X	151	141	160
studeni	XI	163	163	164
prosinac	XII	143	142	144

Tablica 5. Srednje mjesečne temperature zraka oborina za tri razdoblja

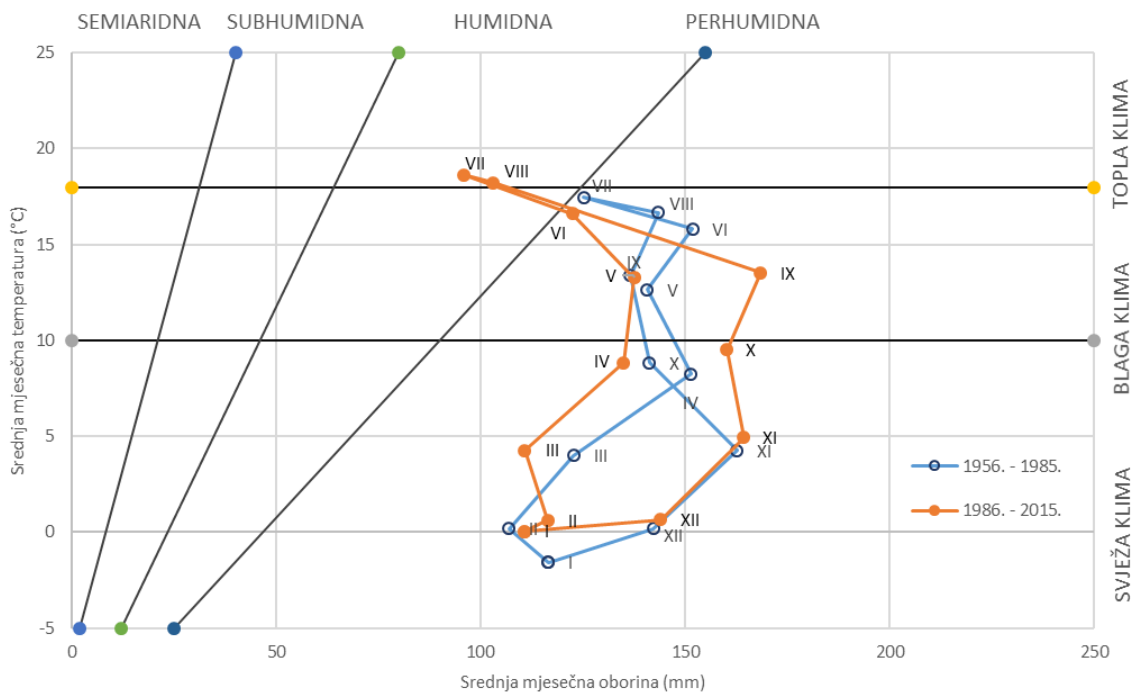
		1956-2015	1956-1985	1986-2015
siječanj	I	-0,8	-1,6	0,1
veljača	II	0,4	0,2	0,6
ožujak	III	4,1	4,0	4,3
travanj	IV	8,5	8,2	8,8
svibanj	V	13,0	12,7	13,3
lipanj	VI	16,2	15,8	16,6
srpanj	VII	18,0	17,5	18,6
kolovoz	VIII	17,5	16,7	18,2
rujan	IX	13,4	13,4	13,5
listopad	X	9,2	8,8	9,5
studeni	XI	4,6	4,3	4,9
prosinac	XII	0,4	0,2	0,6



Slika 12. Značajke klime prikazane Fosterovim dijagramom u razdoblju 1956.-2015.

Iz dijagrama možemo zaključiti da je samo srpanj u humidnoj klimi, dok su svi ostali mjeseci godina u perhumidnoj klimi. Prema toplini, većinom prevladava svježa klima i to tijekom siječnja, veljače, ožujka, travnja, listopada, studenog i prosinca, a u svibnju, lipnju, kolovozu i rujnu prevladava blaga klima. Mjesec srpanj je na granici između tople klime i blage klime.

Potom, analizirane su srednje mjesečne oborine i srednje mjesečne temperature zraka za spomenuta kraća, 30-godišnja razdoblja od 1956. do 1985. i od 1986. do 2015. kako bi se jasno vidjelo da li se je i kako klima mijenjala tijekom analiziranih razdoblja. Njihova međuovisnost je također prikazana u Fosterovom dijagramu (slika 13).



Slika 13. Značajke klime prikazane Fosterovim dijagramom u razdoblju 1956.-1985. i 1986.-2015.

Iz Fosterovog dijagrama vidljiv je prijelaz tijekom ova dva razdoblja, iz perhumidne klime u humidnu klimu u srpnju i kolovozu. U razdoblju 1956.-1985. svi mjeseci se nalaze u perhumidnoj klimi, a u razdoblju 1986.-2015. svi mjeseci, osim srpnja i kolovoza, se također nalaze u perhumidnoj klimi. Prema toplini, znatno je vidljiva razlika u temperaturama između prvog i drugog razdoblja. Svaki mjesec u drugom razdoblju ima veću temperaturu zraka od svakog mjeseca u prvom razdoblju. Većina mjeseca u godini u oba razdoblja ima svježiju klimu (siječanj, veljača, ožujak, travanj, listopad, studeni, prosinac), dok se blaga klima razlikuje između razdoblja. U svibnju, lipnju, srpnju, kolovozu i rujnu 1956.-1985. prevladava blaga klima. U drugom razdoblju u svibnju, lipnju i rujnu prevladava također blaga klima, no u srpnju i kolovozu topla klima. Vidljivo je i da su tijekom posljednjih 30-godina tijekom razdoblja ožujak – kolovoz oborine niže u odnosu na oborine koje su zabilježene u ranijem 30-godišnjem razdoblju, a da su tijekom tog novijeg razdoblja veće oborine u rujnu i listopadu.

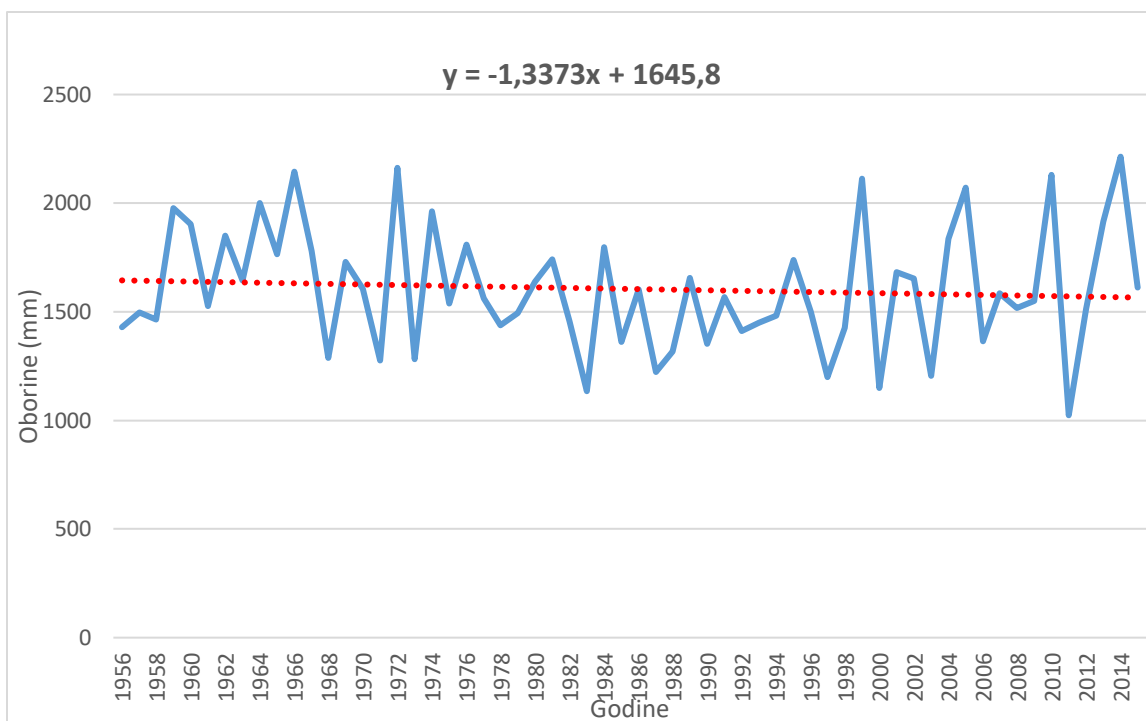
4.3. Godišnji hodovi temperatura zraka i oborina

U ovom potpoglavlju prikazani su godišnji hodovi u grafovima i njihovi trendovi. U tablici 6. prikazani su rezultati provedenih analiza/definiranja osnovnih statističkih pokazatelja godišnjih količina oborina i temperature zraka za razdoblje 1956. – 2015. godine (srednja vrijednost, standardna devijacija, koeficijent varijacije, maksimumi i minimumi).

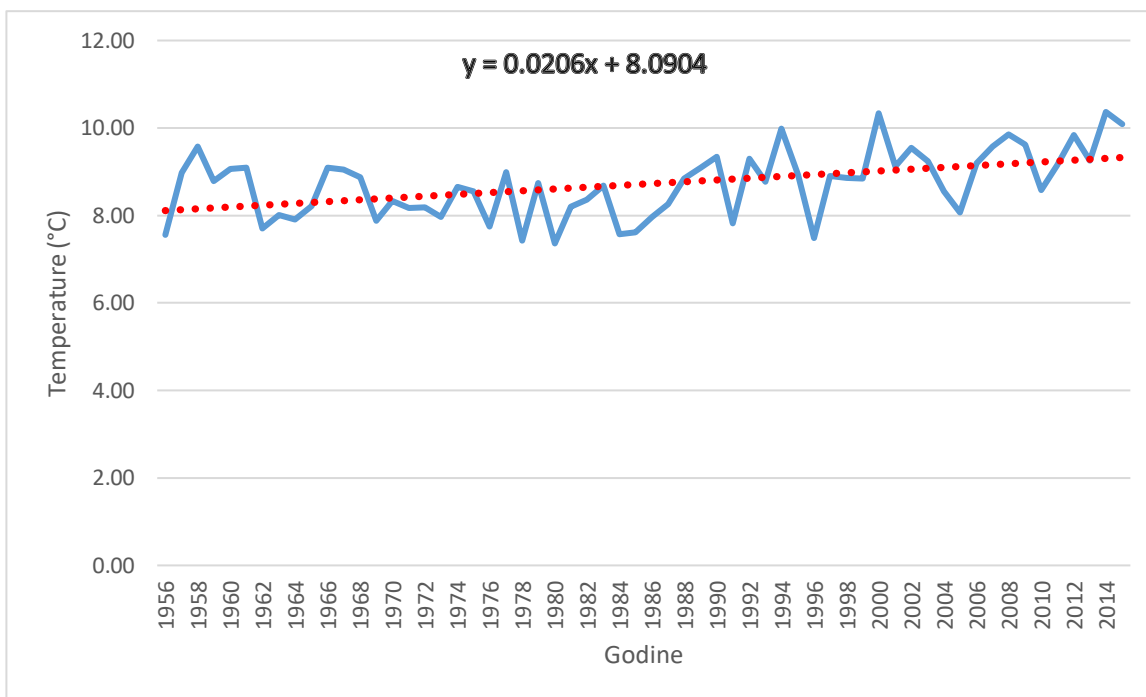
Tablica 6. Statistički pokazatelji godišnjih količina oborina (mm) i temperature zraka (°C) od 1956. do 2015. godine

	Oborine (mm)	Temperature °C
SR	1605	8,7
STDEV	283	0,8
CV	0,18	0,09
MAX	2214	10,4
MIN	1024	7,4

Godišnje količine oborina su postavljene u graf koji prikazuje negativnu vrijednost parametra α u jednadžbi i trend koji je u padu (1,3 mm/god, odnosno 134 mm/100 god) (slika 14). Također, godišnje temperature zraka za promatrano razdoblje u grafu prikazuju pozitivnu vrijednost parametra α u jednadžbi i trend koji je rastući (0,021 °C/god, odnosno 2,1°C/100 god) (slika 15).



Slika 14. Hod godišnjih količina oborina za razdoblje od 1956. do 2015. godine



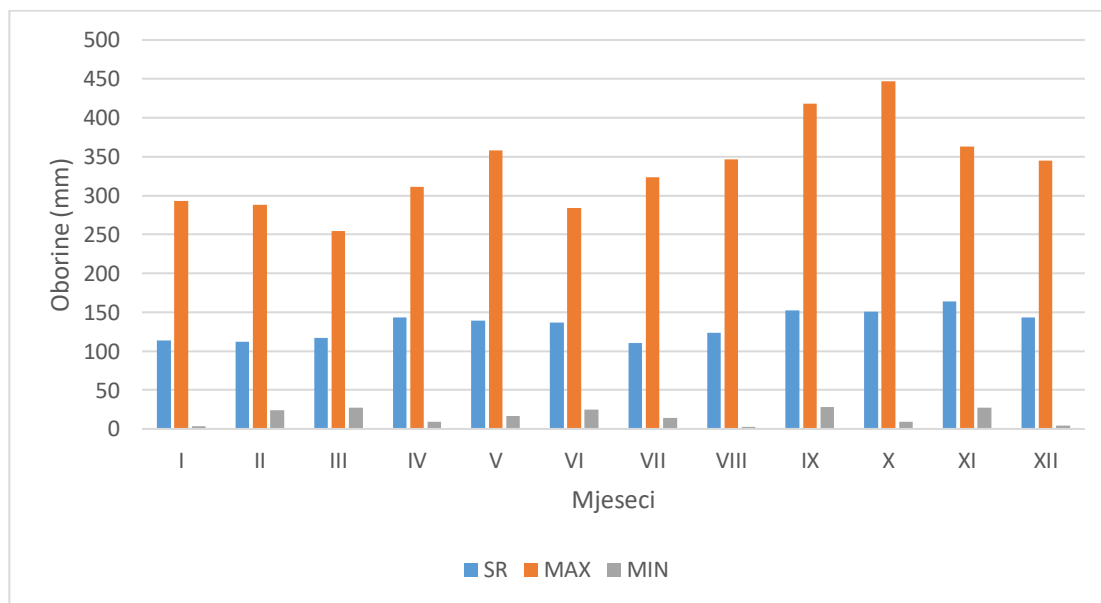
Slika 15. Hod temperature zraka za razdoblje od 1956. do 2015. godine

4.4. Unutargodišnja raspodjela

U ovom potpoglavlju prikazane su unutargodišnje osnovne statističke analize mjesečnih podataka oborina i temperature zraka (1956.-2015.) - srednje vrijednosti, standardna devijacija, koeficijent varijacije te maksimalne i minimalne vrijednosti (tablica 7). U grafu (slika 16) su prikazani nizovi njihovih srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti. Najveća količina oborina na Plitvičkim jezerima je u studenom (u prosjeku 163 mm), dok je najmanja količina u mjesecu srpnju (110 mm). U listopadu 1974. godine izmjereno je najviše količina oborina (447 mm) u promatranom razdoblju, dok je u kolovozu 2000. godine najmanje (3 mm).

Tablica 7. Unutargodišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih vrijednosti oborina (1956.-2015.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SR	114	112	117	143	139	137	110	123	152	151	163	143
STDEV	57	61	49	54	63	59	64	74	80	86	75	75
CV	0,50	0,55	0,42	0,38	0,45	0,43	0,58	0,60	0,53	0,57	0,46	0,53
MAX	293	288	255	311	358	284	324	347	418	447	363	345
MIN	4	24	28	9	17	25	14	3	28	9	28	4

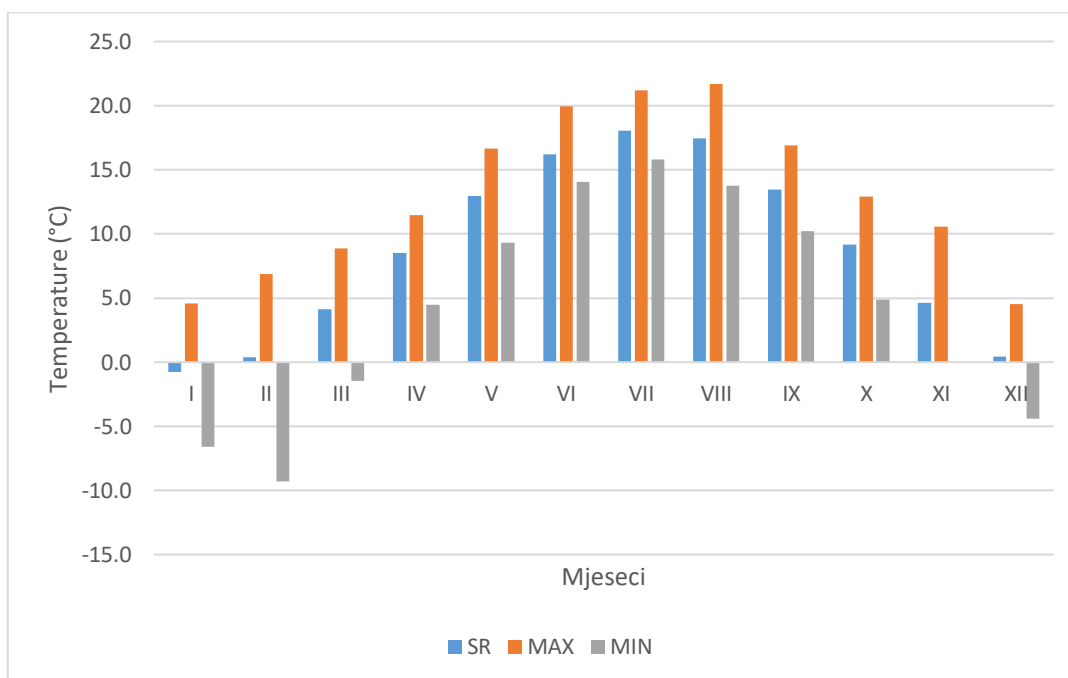


Slika 16. Unutargodišnja raspodjela oborina srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti (1956. - 2015.)

Isto je napravljeno i za mjesečne temperature zraka (1956. – 2015.), gdje je dan grafički prikaz unutargodišnje raspodjele temperatura (slika 17). Najveće temperature zraka su u srpnju (u prosjeku 18,0 °C), a najmanje u siječnju (-0,8 °C). U kolovozu 2003. godine izmjerene su najveće temperature (u prosjeku 21,7 °C) u promatranom razdoblju, dok su u veljači 1956. najmanje (-9,3 °C).

Tablica 8. Unutargodišnja raspodjela karakterističnih srednjih mjesečnih vrijednosti temperature zraka (1956.-2015.)

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
SR	-0,8	0,4	4,1	8,5	13,0	16,2	18,0	17,5	13,4	9,2	4,6	0,4
STDEV	2,5	3,1	2,3	1,5	1,4	1,2	1,2	1,5	1,3	1,6	2,3	2,2
CV	-3,35	7,74	0,56	0,18	0,11	0,08	0,07	0,09	0,10	0,18	0,50	5,25
MAX	4,6	6,9	8,9	11,4	16,6	19,9	21,2	21,7	16,9	12,9	10,6	4,5
MIN	-6,6	-9,3	-1,5	4,5	9,3	14,0	15,8	13,7	10,2	4,9	0,0	-4,4



Slika 17. Unutargodišnja raspodjela temperatura zraka srednjih, maksimalnih i minimalnih vrijednosti (1956. – 2015.)

5. ANALIZA VJEROJATNOSTI POJAVE KARAKTERISTIČNIH GODIŠNJIH I MJESEČNIH KOLIČINA OBORINA I TEMPERATURA ZRAKA

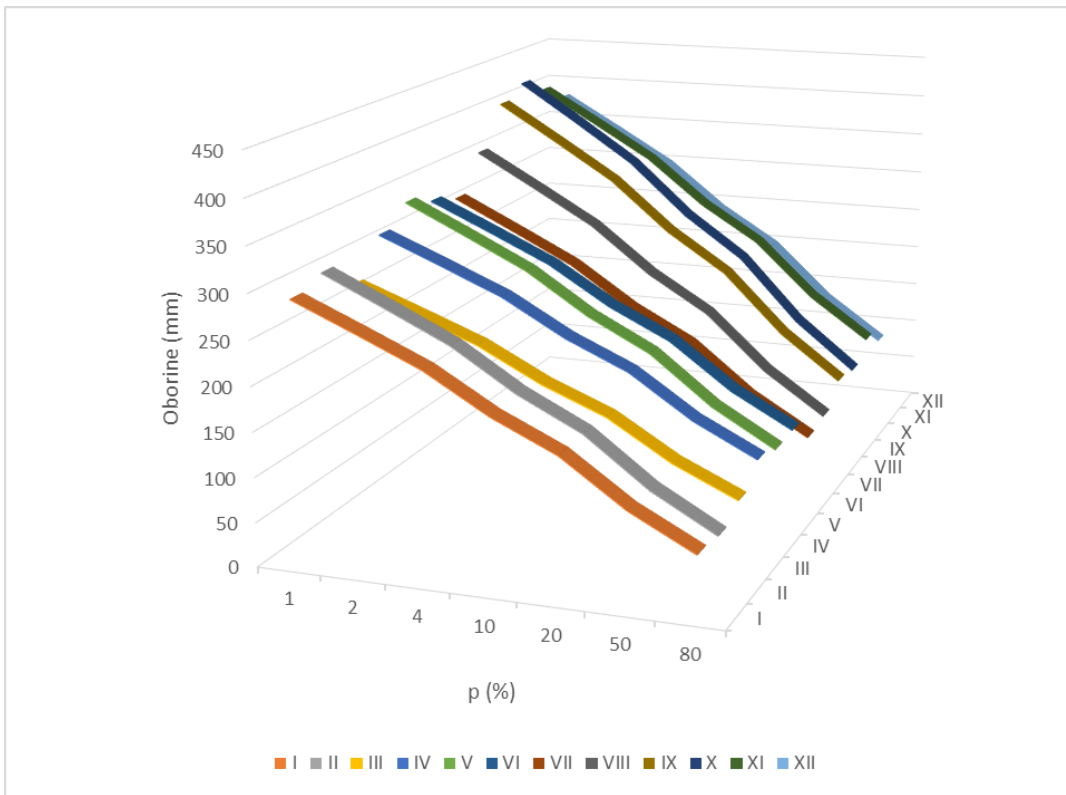
Na osnovi niza podataka o godišnjim i mjesečnim vrijednostima količina oborina i temperature zraka za razdoblje 1956.-2015. godine na klimatološkoj postaji Plitvice, proveden je proračun vjerojatnosti pojave maksimalnih i minimalnih količina godišnjih i mjesečnih oborina i temperatura korištenjem teorijske funkcije raspodjele vjerojatnosti tipa Gumbel. Analize su provedene na način da su procijenjene vjerojatnosti njihove pojave u smislu pojave najvećih kao i najmanjih vrijednosti.

U tablici 9. prikazani su sumarni rezultati proračuna vjerojatnosti pojave najvećih i najmanjih vrijednosti mjesečnih i godišnjih količina oborina i temperature zraka, koji su zatim prikazani u grafovima (slike 18, 19, 20, 21).

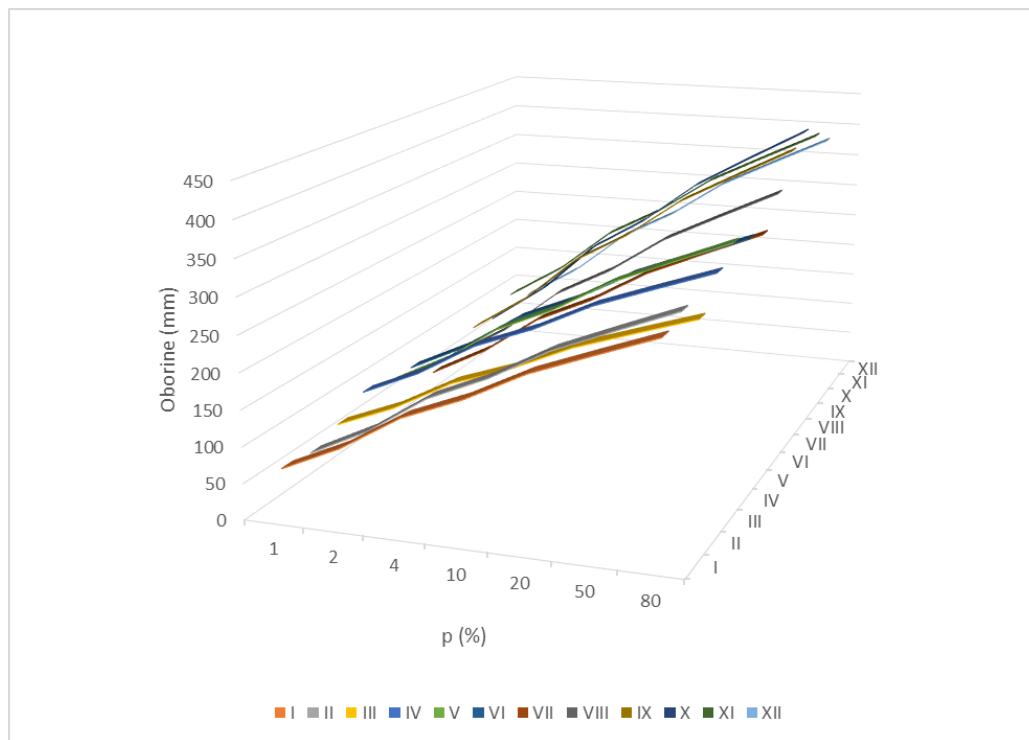
Tablica 9. Rezultati vjerojatnosti pojave najvećih i najmanjih vrijednosti mjesečnih i godišnjih oborina i temperature zraka (1956.-2015.)

	Vjerojatnost pojave	Mjeseci					
	p (%)	I	II	III	IV	V	VI
Hmax (mm)	1	291	303	272	313	336	323
	2	261	270	245	284	302	291
	4	230	236	218	254	267	258
	10	188	191	181	214	221	214
	20	154	156	152	182	184	180
	50	105	102	109	134	129	128
	80	67	61	76	98	87	88
Hmin (mm)	80	291	303	272	313	336	323
	50	261	270	245	284	302	291
	20	230	236	218	254	267	258
	10	188	191	181	214	221	214
	4	154	156	152	182	184	180
	2	105	102	109	134	129	128
	1	67	61	76	98	87	88
Tmax (°C)	1	7,2	10,2	11,4	13,3	17,4	20,0
	2	5,8	8,6	10,1	12,5	16,7	19,4
	4	4,4	6,8	8,9	11,7	15,9	18,7
	10	2,5	4,5	7,1	10,5	14,8	17,8
	20	1,1	2,7	5,8	9,6	14,0	17,1
	50	-1,2	-0,1	3,8	8,3	12,7	16,0
	80	-2,8	-2,2	2,2	7,3	11,8	15,2
Tmin (°C)	80	7,2	10,2	11,4	13,3	17,4	20,0
	50	5,8	8,6	10,1	12,5	16,7	19,4
	20	4,4	6,8	8,9	11,7	15,9	18,7
	10	2,5	4,5	7,1	10,5	14,8	17,8
	4	1,1	2,7	5,8	9,6	14,0	17,1
	2	-1,2	-0,1	3,8	8,3	12,7	16,0
	1	-2,8	-2,2	2,2	7,3	11,8	15,2

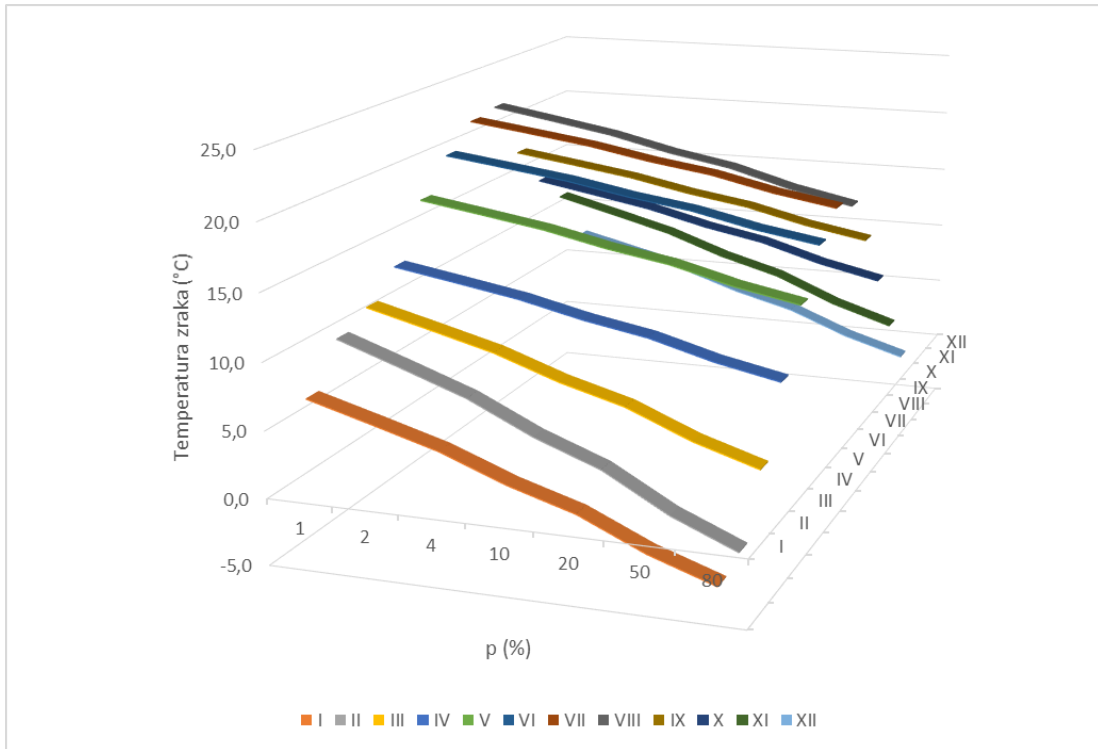
	Vjerojatnost pojave	Mjeseci						
	p (%)	VII	VIII	IX	X	XI	XII	GOD
Hmax (mm)	1	312	355	404	419	400	379	2494
	2	277	315	361	373	360	339	2342
	4	242	275	317	326	318	297	2185
	10	194	220	257	262	262	241	1975
	20	157	176	210	212	218	197	1809
	50	100	111	140	137	151	131	1559
	80	57	62	86	80	101	81	1371
Hmin (mm)	80	312	355	404	419	400	379	2494
	50	277	315	361	373	360	339	2342
	20	242	275	317	326	318	297	2185
	10	194	220	257	262	262	241	1975
	4	157	176	210	212	218	197	1809
	2	100	111	140	137	151	131	1559
	1	57	62	86	80	101	81	1371
Tmax (°C)	1	21,9	22,3	17,6	14,3	11,9	7,3	11,1
	2	21,3	21,5	16,9	13,4	10,6	6,1	10,7
	4	20,6	20,6	16,2	12,5	9,4	4,9	10,3
	10	19,7	19,5	15,2	11,3	7,6	3,3	9,7
	20	18,9	18,6	14,4	10,3	6,3	2,0	9,3
	50	17,8	17,2	13,2	8,9	4,2	0,1	8,6
	80	17,0	16,2	12,3	7,8	2,7	-1,4	8,1
Tmin (°C)	80	21,9	22,3	17,6	14,3	11,9	7,3	11,1
	50	21,3	21,5	16,9	13,4	10,6	6,1	10,7
	20	20,6	20,6	16,2	12,5	9,4	4,9	10,3
	10	19,7	19,5	15,2	11,3	7,6	3,3	9,7
	4	18,9	18,6	14,4	10,3	6,3	2,0	9,3
	2	17,8	17,2	13,2	8,9	4,2	0,1	8,6
	1	17,0	16,2	12,3	7,8	2,7	-1,4	8,1



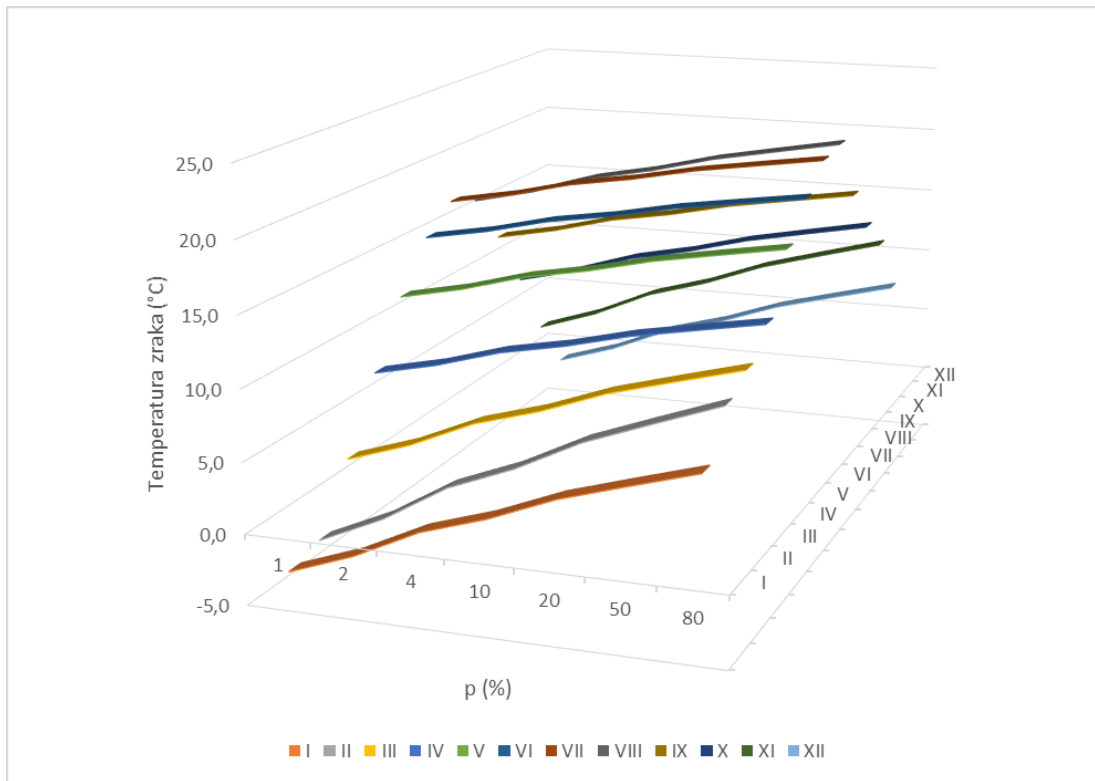
Slika 18. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih oborina u smjeru maksimuma



Slika 19. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih oborina u smjeru minimuma



Slika 20. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih temperatura u smjeru maksimuma



Slika 21. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih mjesečnih temperatura u smjeru minimuma

6. ANALIZA UTJECAJA KLIMATSKIH PROMJENA NA REŽIM OBORINA I TEMPERATURA ZRAKA

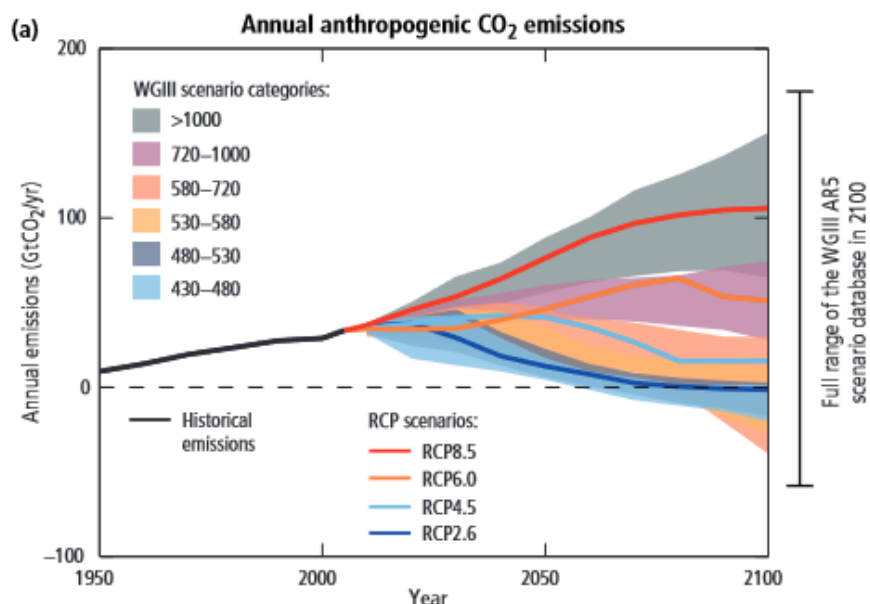
6.1. Općenito o klimatskim promjenama

Klimatske promjene nazivamo statistički značajne promjene srednjeg stanja ili varijabilnosti klimatskih veličina koje traju desetljećima i duže. Varijabilnost klime može biti uzrokovana prirodnim čimbenicima unutar samog klimatskog sustava i vanjskim čimbenicima, primjerice promjenom Sunčevog zračenja koje dolazi do atmosfere i Zemljine površine. Osim prirodnih varijacija klime, promjene klime mogu biti izazvane i ljudskim aktivnostima kojima u atmosferu dolaze plinovi staklenika, a oni imaju ključnu ulogu u zagrijavanju atmosfere (https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene).

Prirodno zagrijavanje atmosfere odvija se na način da atmosfera apsorbira dugovalno zračenje površine Zemlje te ga emitira u svim smjerovima. Dio tog zračenja koji je usmjeren prema površini Zemlje, uzrokuje daljnje zagrijavanje te površine i donjeg sloja atmosfere, što se naziva efektom staklenika. Plinovi staklenika koji se prirodno nalaze u atmosferi i apsorbiraju dugovalno zračenje Zemlje su metan (CH₄), dušikov oksid (N₂O), ozon (O₃) te vodena para i ugljikov dioksid (CO₂). Do promjene kemijskog sastava atmosfere tj. do povećanja koncentracije plinova staklenika u atmosferi dolazi sagorijevanjem fosilnih goriva, promjenom tipova podloge koja nastaje, primjerice, urbanizacijom, sječom šuma i razvojem poljoprivrede. Od početka industrijalizacije do danas, značajno su se povećale koncentracije plinova u atmosferi što je uzrokovalo jači efekt staklenika i veće zagrijavanje atmosfere od onog koje se događa prirodnim putem (https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene).

Kako bi se procijenile promjene klime u budućnosti, potrebno je definirati buduće emisije ugljikovog dioksida i drugih plinova staklenika u atmosferu. Međuvladin panel za klimatske promjene (engl. Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC) je u svom *Posebnom izvješću o emisijskim scenarijima* definirao scenarije emisija stakleničkih

plinova uzimajući u obzir pretpostavke o budućem demografskom, gospodarskom, socijalnom i tehnološkom razvoju na globalnoj i regionalnoj razini (slika 22) (https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene).



Slika 22. Različiti klimatski scenariji očekivanih promjena klime u ovisnosti o stupnju emisije stakleničkih plinova na Zemlji (Climate change, 2014 / https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)

Klimatske scenarije nije moguće točno previdjeti, ali neki od mogućih scenarija razvoja svijeta u budućnosti su intenzivno korištenje fosilnih izvora energije, mogući izostanak fosilnih izvora energije, povećanje ili opadanje svjetske populacije, održivost okoliša i kontinuirano povećanje svjetske populacije (https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene). Scenarij RCP4.5 smatra se umjerenijim scenarijem za razliku od scenarija RCP8.5 koji je ekstremniji. Rezultati projekcija klimatskih modela do 2040. godine su statistički vjerojatniji jer su bliže sadašnjosti, a vjerojatnijim se smatra i scenarij rasta koncentracija stakleničkih plinova RCP4.5. Scenarij RCP8.5 ima kontinuirano povećanje koncentracije stakleničkih plinova, koja bi do 2100. godine bila i do tri puta veća od današnje (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).

Do 2040. godine očekuje se povećanje ukupnih količina oborina, za scenarij RCP8.5, u odnosu na klimu zimi i u proljeće u većem dijelu Hrvatske. Povećanje bi bilo najveće (8 – 10 %) u sjevernoj i središnjoj Hrvatskoj zimi. Ljeti je projicirano prevladavajuće smanjenje ukupne količine oborina, najviše u Lici (do 10 %). U jesen je očekivano neznatno povećanje ukupne količine oborina. Buduće promjene oborina za scenarij RCP4.5 prikazuju da se najveće smanjenje očekuje u predjelima od južne Like do zaleđa Dalmacije uz granicu s Bosnom i Hercegovinom (oko 40 mm) i u najjužnijim kopnenim predjelima (oko 70 mm) (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).

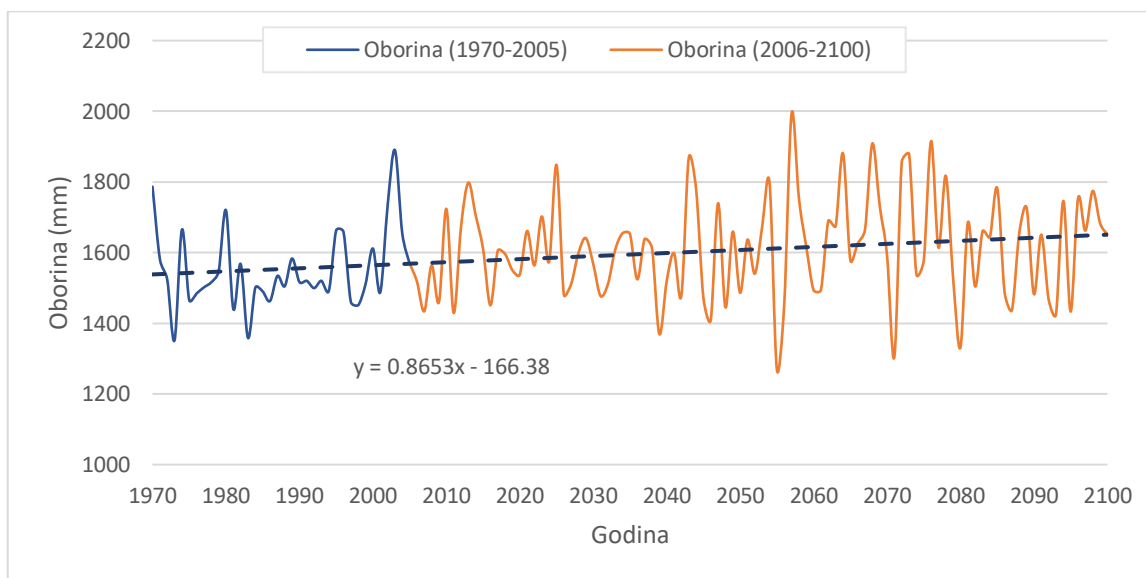
Prema scenariju RCP8.5, u razdoblju 2011. – 2040. sezonski porast temperature bi u prosjeku bio veći samo za oko 0,3 °C u usporedbi s RCP4.5. U razdoblju 2041. – 2070. godine projicirani porast temperature za RCP8.5 scenarij osjetno je veći od onog za RCP4.5 i iznosi između 2,6 i 2,9 °C ljeti, a u ostalim sezonama od 2,2 do 2,5 °C (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).

Važno je pokrenuti društveni proces prihvaćanja koncepta prilagodbe klimatskim promjenama, utvrditi stupanj ranjivosti i odrediti prioritetne mjere djelovanja te utvrditi učinak klimatskih promjena na Republiku Hrvatsku. Drugim riječima, potrebno je strateški pristupiti procesu prilagodbe realnosti klimatskih promjena i primjeniti inovativna rješenja za održivi razvoj. Važno je osigurati da mjere prilagodbe klimatskim promjenama ujedno doprinose smanjenju emisija stakleničkih plinova (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).

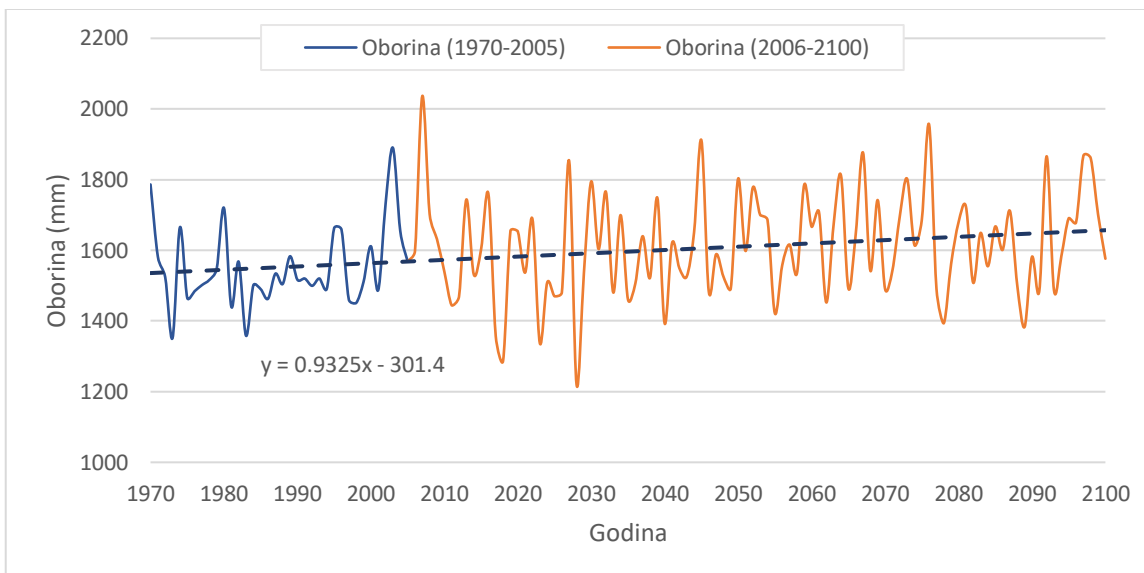
Za potrebe *Strategije prilagodbe klimatskim promjenama Republike Hrvatske do 2040. godine s pogledom na 2070. godinu*, prilagodba je definirana kao proces koji podrazumijeva procjenu štetnih utjecaja klimatskih promjena i poduzimanje primjerenih mjera s ciljem sprječavanja ili smanjenja potencijalne štete koje one mogu uzrokovati. Prilagodba klimatskim promjenama podrazumijeva poduzimanje aktivnosti s ciljem smanjenja ranjivosti društva i prirodnih sustava na klimatske promjene, povećanja sposobnosti oporavka nakon učinaka klimatskih promjena te iskorištavanje potencijalnih pozitivnih učinaka, koji također mogu biti posljedica klimatskih promjena (https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html).

6.2. Prikaz rezultata provedenih procjena

U posljednjem potpoglavlju rada, analizirani su hodovi godišnjih količina oborina i temperature zraka u periodu od 1970. do 2005. i od 2006. do 2100. po modelu P4 i P8, odnosno klimatskim scenarijima P4.5 te P8.5, čije su obrade provedene od strane PMF fakulteta u Zagrebu u sklopu projekta Hidrodinamika Plitvičkih jezera. Hod godišnjih količina oborina po modelu P4 prikazuje pozitivnu vrijednost parametra a u jednadžbi i trend koji je rastući (0,86 mm/god) (slika 23). Po modelu P8 trend je također rastući i nešto naglašeniji, te iznosi 0,93mm/god (slika 24). Pri tome se može vidjeti da unatoč očekivanom trendu blagog porasta oborina, u budućnosti se mogu javiti i iznimno sušne godine, značajnije sušne nego li je zapaženo tijekom povijesnog razdoblja.

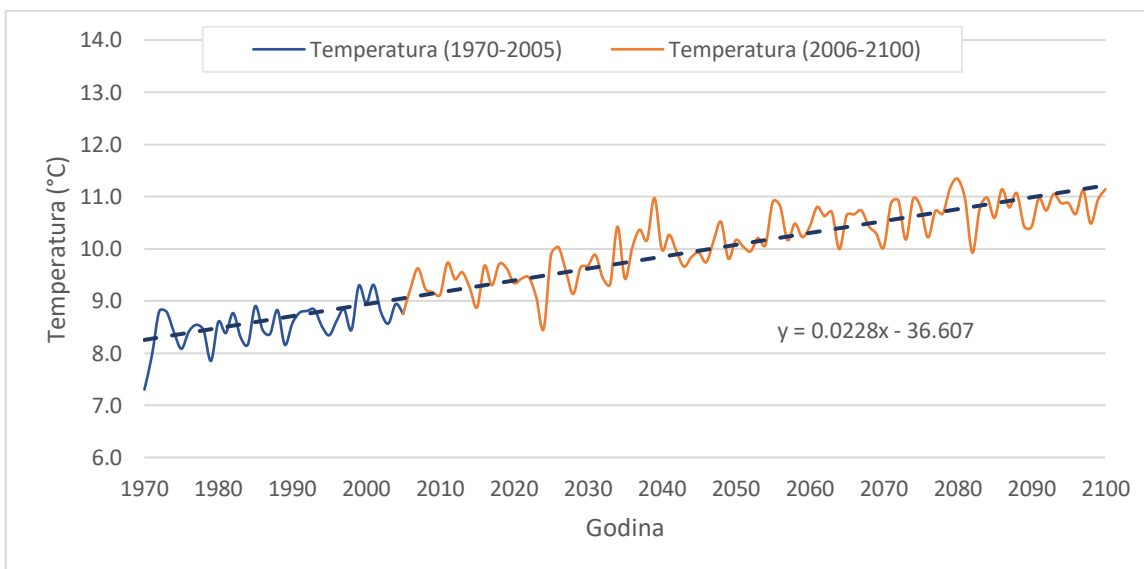


Slika 23. Prikaz hoda godišnjih količina oborina po modelu P4 (1970.-2100.)

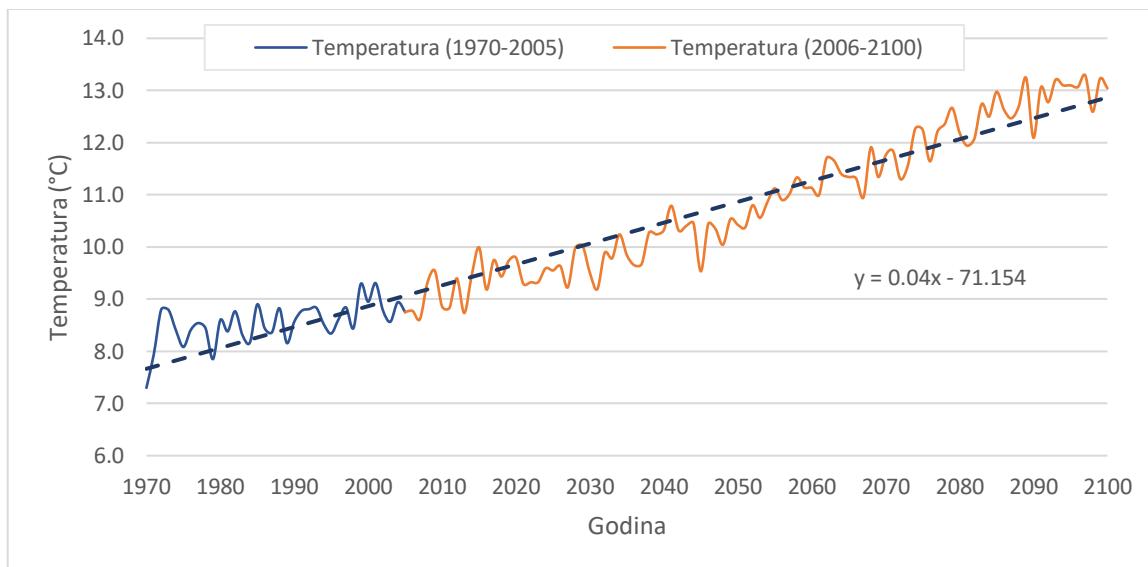


Slika 24. Prikaz hoda godišnjih količina oborina po modelu P8 (1970.-2100.)

Također, hod godišnjih temperatura zraka za buduće razdoblje po modelu P4, u grafu prikazuju pozitivnu vrijednost parametra a u jednadžbi i trend koji je rastući (0,023 °C/god, odnosno 2,3 °C/100 god) (slika 25). Po modelu P8, trend je također rastući, ali i dvostruko naglašeniji, te iznosi 0,04 °C/god, odnosno 4,0 °C/100 god (slika 26).



Slika 25. Prikaz hoda godišnjih temperatura zraka (P4) 1970.-2100.

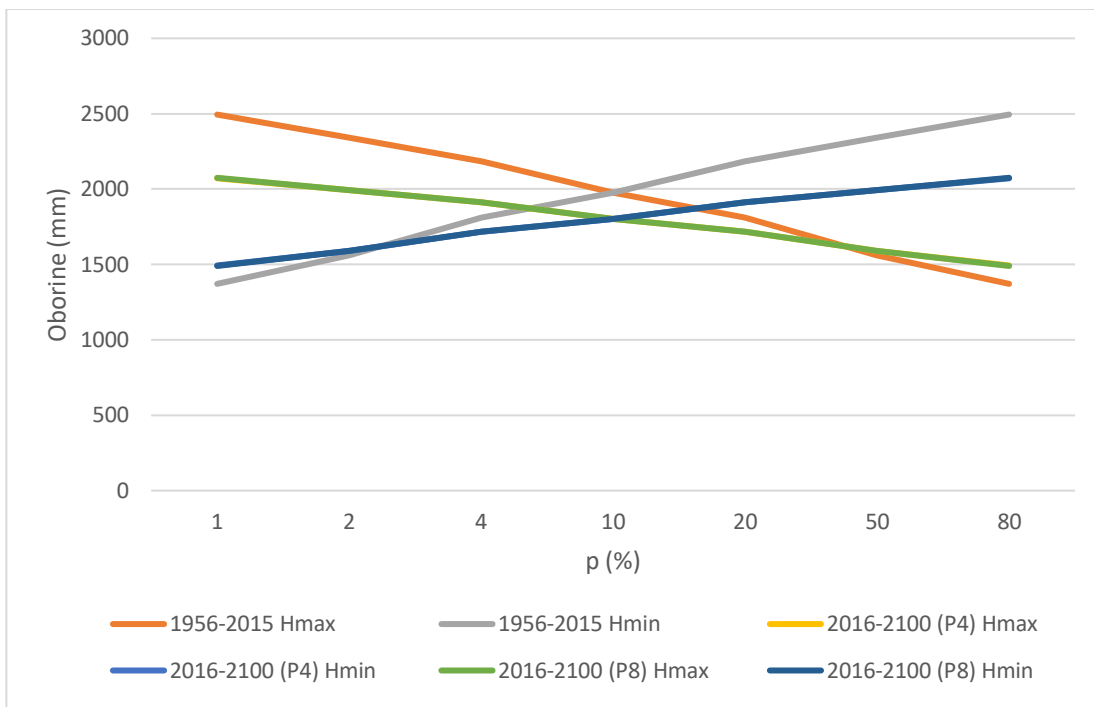


Slika 26. Prikaz hoda godišnjih temperatura zraka (P8) 1970.-2100.

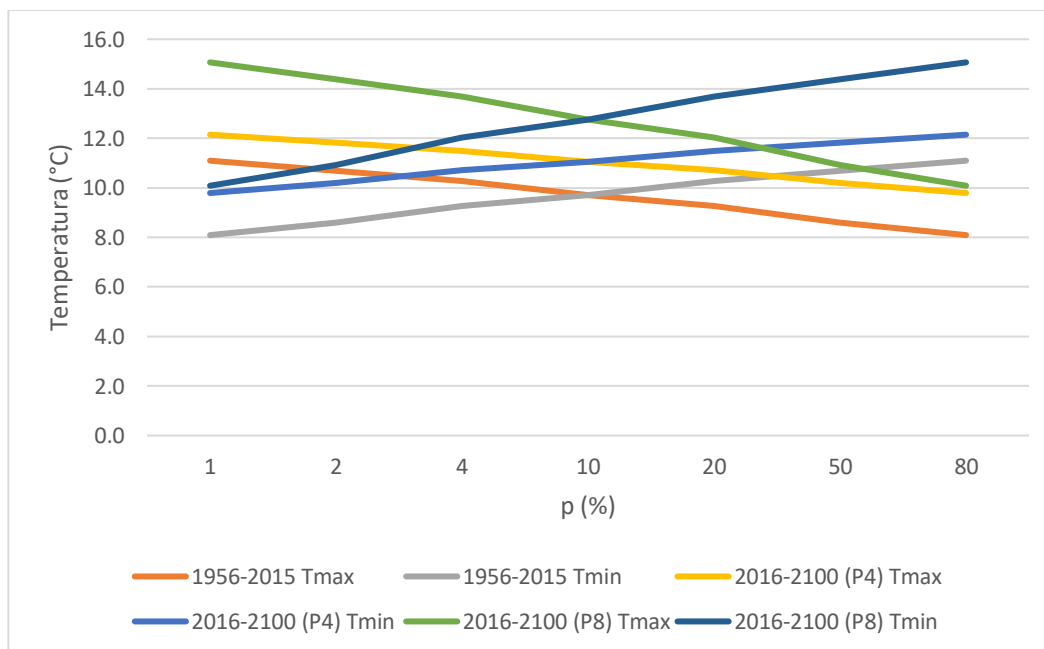
Zatim, proveden je proračun vjerojatnosti pojave maksimalnih i minimalnih godišnjih oborina i temperatura zraka za buduća razdoblja 2016.-2100. po modelu P4 i P8, te su sumarni rezultati postavljeni u tablicu 10. zajedno s već prijašnje izračunatim godišnjim oborinama i temperature zraka razdoblja 1956.-2015. Rezultati su prikazani i u grafovima (slike 27 i 28)

Tablica 10. Rezultati vjerojatnosti pojave najvećih i najmanjih vrijednosti godišnjih oborina i temperature zraka za razdoblja 1956.-2015., 2016.-2100.(P4) i 2016.-2100.(P8)

	Vjerojatnost pojave	Razdoblja		
	p (%)	1956-2015	2016-2100 (P4)	2016-2100 (P8)
Hmax (mm)	1	2494	2071	2075
	2	2342	1993	1995
	4	2185	1912	1914
	10	1975	1804	1804
	20	1809	1718	1718
	50	1559	1590	1588
	80	1371	1493	1490
Hmin (mm)	80	2494	2071	2075
	50	2342	1993	1995
	20	2185	1912	1914
	10	1975	1804	1804
	4	1809	1718	1718
	2	1559	1590	1588
	1	1371	1493	1490
Tmax (°C)	1	11,1	12,1	15,1
	2	10,7	11,8	14,4
	4	10,3	11,5	13,7
	10	9,7	11,1	12,8
	20	9,3	10,7	12,0
	50	8,6	10,2	10,9
	80	8,1	9,8	10,1
Tmin (°C)	80	11,1	12,1	15,1
	50	10,7	11,8	14,4
	20	10,3	11,5	13,7
	10	9,7	11,1	12,8
	4	9,3	10,7	12,0
	2	8,6	10,2	10,9
	1	8,1	9,8	10,1



Slika 27. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih godišnjih oborina u smjeru maksimuma i minimuma za povijesni niz (1956.-2015.) te generirani niz u uvjetima klimatskih promjena – modeli P4 i P8 (2016.-2100.)



Slika 28. Vjerojatnost pojavljivanja srednjih godišnjih temperatura u smjeru maksimuma i minimuma za povijesni niz (1956.-2015.) te generirani niz u uvjetima klimatskih promjena – modeli P4 i P8 (2016.-2100.)

Iz danih procjena može se zaključiti da se očekuje vrlo značajna promjena temperatura na području Plitvičkih jezera do kraja ovoga stoljeća koje mogu, unatoč očekivanom blagom trendu porasta oborina, izazvati ozbiljne posljedice na sustav Plitvičkih jezera u pogledu otjecanja voda na tom području, kao i promjene temperatura voda što može utjecati i na procese u ekosustavu pa i sedrenje na barijerama Plitvičkih jezera.

7. ZAKLJUČCI

Područje Plitvičkih jezera karakteriziraju relativno niske srednje godišnje temperature zraka 8,7 °C i te relativno značajne količine oborina (prosječno 1605 mm) te prevladava umjereno topla i vlažna klima s toplim ljetima. Temeljni cilj ovog rada je analiza postojećih oborinskih i temperaturnih prilika i predviđanja budućih stanja tih pokazatelja u uvjetima očekivanih klimatskih promjena na Plitvičkim jezerima.

U radu su analizirani podaci s meteorološke postaje Plitvice u razdoblju od 1956. do 2015. godine. Nekoliko mjesečnih podataka nedostaju u 1971. i 1980. godini te su nadopunjeni na osnovu regresijske analize preko postaje Slunj. Nakon upotpunjenih podataka, srednje mjesečne količine oborina i temperature zraka podijeljene su na tri razdoblja – 1956.-2015., 1956.-1985., te 1986.-2015. godine. i kako bi se pratile značajke klime podaci su prikazani u Fosterovom dijagramu. Na dijagramu razdoblja 1956.-2015. godine većinom prevladava prehumidna klima i svježja klima. Na Fosterovom dijagramu u razdoblju 1956.-1985. i 1986.-2015. vidljiva je razlika između ova dva razdoblja. Prvo razdoblje ima niže temperature od drugog razdoblja i prvo razdoblje ima perhumidnu klimu, dok drugo razdoblje prelazi iz perhumidne u humidno ovisno o mjesecima. Većinom su oba razdoblja u svježoj i blagoj klimi, a samo srpanj i kolovoz drugog razdoblja prelaze u toplu klimu.

Analizirani su godišnji hodovi količine oborina i temperature zraka za razdoblje 1956.-2015. Trend godišnjih oborina je u padu i iznosi 1,3 mm/god, a trend godišnjih temperatura zraka je rastući i iznosi 0,021 °C/god. Analizirane su i unutargodišnje osnovne statističke analize mjesečnih oborina i temperature zraka iz kojih zaključujemo da je najveća količina oborina na Plitvičkim jezerima u studenom (163 mm), dok je najmanja količina u mjesecu srpnju (110 mm). U listopadu 1974. godine izmjereno je najviše količina oborina (447 mm) u promatranom razdoblju, dok je u kolovozu 2000. godine najmanje (3 mm). Najveće temperature zraka su u srpnju (u prosjeku 18,0 °C), a najmanje u siječnju (-0,8 °C). U kolovozu 2003. godine izmjerene su najveće temperature (u prosjeku 21,7 °C) u promatranom razdoblju, dok su u veljači 1956. najmanje (-9,3 °C).

Proveden je proračun vjerojatnosti pojave maksimalnih i minimalnih količina godišnjih i mjesečnih oborina i temperature za razdoblje 1956. – 2015. i vjerojatnosti maksimalnih i minimalnih količina godišnjih oborina i temperatura za buduće razdoblje 2016.-2100. po modelu P4 i P8.

Analiziranjem hodova godišnjih količina oborina i temperature zraka u periodu od 1970. do 2005. i od 2006. do 2100. po modelu P4 i P8 dobili smo da hod godišnjih količina oborina po modelu P4 prikazuje trend koji je rastući i iznosi 0,86 mm/god. Po modelu P8 trend je također rastući te iznosi 0,93mm/god. Pri tome se može vidjeti da unatoč očekivanom trendu blagog porasta oborina, u budućnosti se mogu javiti iznimno sušne godine. Hod godišnjih temperatura zraka za buduće razdoblje po modelu P4 prikazuje trend koji je rastući i iznosi 0,023 °C/god. Po modelu P8, trend je također rastući, ali i dvostruko naglašeniji, te iznosi 0,04 °C/god.

Postoje različiti klimatski scenariji očekivanih promjena klime u budućnosti. Najizgledniji su scenariji RCP4.5 i RCP8.5, na temelju kojih su i korišteni spomenuti modeli P4 i P8. Rezultati projekcija klimatskih modela do 2040. godine su statistički vjerojatniji jer su bliže sadašnjosti, a vjerojatnijim se smatra i scenarij rasta koncentracija stakleničkih plinova RCP4.5. Scenarij RCP8.5 ima kontinuirano povećanje koncentracije stakleničkih plinova, koja bi do 2100. godine bila i do tri puta veća od današnje.

Možemo zaključiti da se do kraja ovog stoljeća očekuje povećanje temperatura na području Plitvičkih jezera, a s time i povećanje temperature vode koje mogu, unatoč blagom trendu porasta oborina, izazvati ozbiljne posljedice na ekosustav i sedrenje na barijerama Plitvičkih jezera.

8. LITERATURA

Bencetić Klaić, Z.; Rubinić, J.: *Hidrodinamičko modeliranje sustava Plitvičkih jezera – Prošćansko jezero*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geofizički odsjek, Geotehnički fakultet; Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, 2017.

Erdelez, A.; Petković, A.: *Elaborat zaštite okoliša za ocjenu o potrebi procjene utjecaja na okoliš*, Fidon d.o.o., Zagreb, 2021.

Kočić, A.: *Utjecaj stanišnih uvjeta na dinamiku razvoja makrofita u vodotocima nizinskog dijela Hrvatske*, Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Biološki odsjek, Zagreb, 2013.

Rubinić, J.: *Predavanja – Prirodne osnove vodnih pojava u priobalju*, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2019.

Vozila, L.: *Analiza i modeliranje hidroloških procesa u slivu jezera Prošće (Plitvička jezera)*, *diplomski rad*, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka, 2017.

Internetski izvori:

- Nacionalni park "Plitvička jezera": <https://np-plitvicka-jezera.hr/istrazite-park/>; 8.5.2021.
- Nacionalni park "Plitvička jezera": <https://np-plitvicka-jezera.hr/fotomonografija-parkovi-hrvatske/parkovi-hrvatske-karta/> ; 14.06.2021.
- Nacionalni park "Plitvička jezera": <https://np-plitvicka-jezera.hr/prirodna-i-kulturna-bastina/prirodna-bastina/raznolikost-stanista/sume/>
- Klimatski Atlas Hrvatske:
http://klima.hr/razno/publikacije/klimatski_atlas_hrvatske.pdf
- Climate change 2014 Synthesis report,
https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/SYR_AR5_FINAL_full.pdf
- DHMZ: https://meteo.hr/klima.php?section=klima_modeli¶m=klima_promjene
- Narodne novine: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_04_46_921.html